

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SIMULAČNÍ MODEL VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ PRO NETWORK
SIMULATOR 3

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VLADISLAV KAPOUN

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SIMULAČNÍ MODEL VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ PRO NETWORK SIMULATOR 3

SIMULATION MODEL OF PUBLIC LIGHT FOR NETWORK SIMULATOR 3

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VLADISLAV KAPOUN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADEK FUJDIÁK

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Vladislav Kapoun

ID: 134329

Ročník: 2

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Simulační model veřejného osvětlení pro Network Simulator 3

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Student bude mít za úkol vytvořit model pro Network Simulator 3 ve kterém bude možné simulovat veřejné osvětlení ve městech. Tento model by měl být lehce upravitelný tak, aby bylo možné do něj jednoduchým (popsaným v práci) algoritmem/procesem zabudovat složitější algoritmy řízení. Na základě tohoto popisu bude implementována navržená metoda ze semestrálního projektu a dále také klasické nejběžnější řízení, které se dnes pro řízení osvětlení používá. Poté student implementuje třetí způsob řízení (poskytnutý školitelem) a všechny tři typy následně proměří a porovná v rámci spotřeby, složitosti a dalších vybraných parametrů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] NS3. "NS3 Network Simulator: ns-3 Manual". Release ns-3-dev (ns-3 project). October 2014.
- [2] NS3. "NS3 Network Simulator: ns-3 Tutorial". Release ns-3.18.1 (ns-3 project). November 2013.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 26.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Radek Fujdiak

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na možnosti ovládání inteligentního veřejného osvětlení, obsahuje popis ovládání a výhod systémů oproti současnému ovládání veřejného osvětlení. Rovněž se zabývá výčtem a srovnáním nejpoužívanějších světelných zdrojů a LED světelných zdrojů. Popisem simulačního prostředí NS-3 a uvedením jeho výhod. Obsahuje vlastní teoretický návrh pro energeticky úsporný systém ovládání veřejného osvětlení a jeho modifikaci pro potřeby simulace. Navržený systém je simulován a porovnáván se současnými systémy řízení veřejného osvětlení a se systémem navrženým třetí stranou.

KLÍČOVÁ SLOVA

inteligentní technologie, inteligentní veřejné osvětlení, světelné zdroje, systémy řízení, ZigBee, LR-WPAN, NS-3

ABSTRACT

This thesis is focused on the smart public lighting management possibilities. It describes smart public lighting management itself and the advantages of the new management possibilities compared to the current ones are illustrated as well. Furthermore, it deals with a comparison of the most used light resources and LED light resources. This thesis also outlines NS-3 simulation environment and states its advantages. Theoretical concept for energy-saving smart public lighting management system and its modifications for the needs of simulation is described in the paper. This theoretical concept is simulated and compared with the current smart public lighting management systems as well as with the systems designated by the third party.

KEYWORDS

smart technologies, smart public lighting, light sources, systems of operation, ZigBee, LR-WPAN, NS-3

KAPOUN, Vladislav *Simulační model veřejného osvětlení pro Networ Simulator 3*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2015. 50 s. Vedoucí práce byl Ing. Radek Fujdiak,

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Simulační model veřejného osvětlení pro Networ Simulator 3“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Radku Fujdiakovi, za odborné vedení, trpělivost, konzultace a podnětné návrhy k práci. Také bych rád poděkoval rodičům za podporu během studia. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat přítelkyni za neutuchající trpělivost a podporu.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....
(podpis autora)

OBSAH

Úvod	11
1 Inteligentní technologie	12
1.1 Inteligentní síť	13
1.2 Inteligentní města	13
2 Inteligentní veřejné osvětlení	15
2.1 Systémy řízení veřejného osvětlení	15
2.1.1 Inteligentní systém řízení osvětlení (Intelligent outdoor lighting control system), Intelilite, LLC	16
2.1.2 Inteligentní systém osvětlení (Smart lighting system), TClouds	16
2.1.3 Owlet-Inteligentní ovládání pro efektivní osvětlení (Owlet-Smart control for efficient lighting), Schröder	18
2.1.4 Systém a ovládání inteligentního veřejného osvětlení na bázi GSM (GSM Based Smart Street Light Monitoring and Control System)	19
2.1.5 Systém CREDIT (Control and Regulation of Discharge Tubes), Axima	20
2.1.6 Komparace systémů řízení veřejného osvětlení	21
2.2 Světelné zdroje	21
2.2.1 Halogenidové výbojky	21
2.2.2 Vysokotlaké sodíkové výbojky	22
2.2.3 Elektroluminescenční diody	22
2.2.4 Komparace světelných zdrojů	23
2.3 Komunikační standardy	24
2.3.1 Standardy IEC	24
2.3.2 Digital adresable lighting interface (DALI)	25
2.3.3 ZigBee	26
3 Simulační prostředí	27
3.1 NS-3 simulátor	27
3.2 Výhody NS-3 simulátoru	28
3.3 Vlastní teoretický návrh systému řízení veřejného osvětlení	29
4 Simulace	31

5	Výsledky	36
5.1	Scénář A	36
5.2	Scénář B	37
5.3	Scénář C	39
6	Závěr	40
	Literatura	42
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	45
A	Příloha - Komparace světelných zdrojů	47
B	Příloha - simulační prostředí	48
C	Příloha - simulační scénáře	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Využití inteligentních technologií [6]	12
2.1	Struktura systému TCloud [14]	17
2.2	Struktura systému Owlet [16]	18
2.3	Struktura systému GSM [10]	19
2.4	Struktura systému CREDIT [10]	20
3.1	Struktura simulátoru NS-3	28
3.2	Programová organizace NS-3	29
3.3	Vlastní teoretický návrh systému řízení veřejného osvětlení	30
4.1	Scénář A - méně frekventovaná ulice	31
5.1	Scénář A - méně frekventovaná ulice	37
5.2	Scénář A - závilost osvětlení na výkonu	38
5.3	Scénář B - frekventovaná ulice	38
5.4	Scénář C - poskytnutý systém řízení	39
B.1	Simulační prostředí	48
C.1	Scénář B - frekventovaná ulice	49
C.2	Scénář C - simulace poskytnutého systému	50

SEZNAM TABULEK

2.1	Porovnání světelných zdrojů	23
A.1	Komparace světelných zdrojů [21]	47

ÚVOD

V důsledku rostoucí urbanizace a vědeckého pokroku současné technologie zastarávají. Ať už se jedná o stávající rozvodné sítě, řízení dopravy, řízení osvětlení nebo svoz odpadu, díky aplikací inteligentních technologií dosáhneme zlepšení a pokroku ve všech aspektech řízení a kontroly [1].

Inteligentní technologie jsou atraktivním tématem nejen, co se pokrokových technologií týče, ale i ekologie a úspor energií. Zaváděním inteligentních technologií do měst, firem a velkých korporací můžeme dosáhnout úspornějšího a efektivnějšího řízení spotřeby a služeb [2].

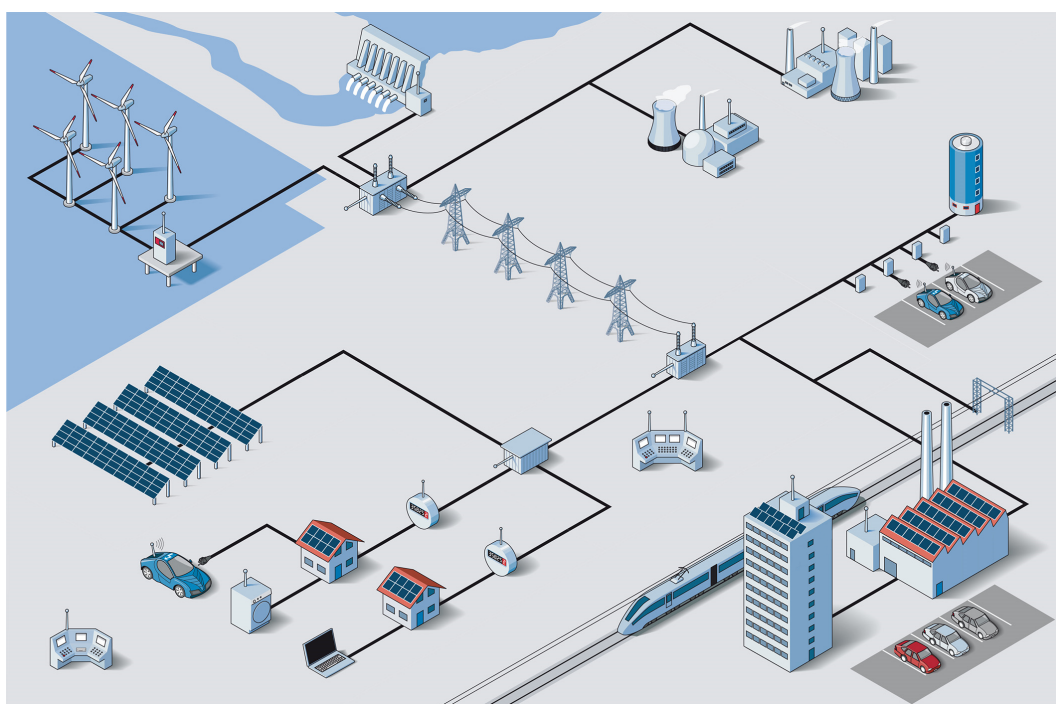
Jednou z nejdůležitějších součástí těchto technologií je veřejné osvětlení a způsoby jeho řízení. Stávající veřejné osvětlení je v mnoha městech již na sklonku svého funkčního období, které navíc bývá uměle prodlužováno [3]. Stav stávajícího veřejného osvětlení tak poskytuje příležitost náhrady v podobě inteligentních systémů za stávající systémy řízení a LED zdrojů v případě světelných zdrojů. „Intelligence“ systému spočívá v možnosti efektivnějšího ovládnutí a s tím využití komunikačních kanálů od standardní LAN komunikace, přes připojování skupin světel do cloudů až po GPRS komunikaci modulů veřejného osvětlení. Náhrada LED zdrojů za stávající světelné zdroje poskytuje mimo dobrou směrovatelnost světla také jednodušší možnosti stmívání a delší životnost [4].

Tato práce rozebírá řízení veřejného osvětlení, zabývá se možnostmi řízení veřejného osvětlení. Rovněž se zabývá světelnými zdroji používanými současným osvětlením a zdroji použitelnými v konceptu inteligentního osvětlení. Práce obsahuje odůvodnění volby simulačního prostředí, spuštění vlastní simulace a zhodnocení výsledků.

Cílem je navrhnout vlastní metodu pro řízení veřejného osvětlení a následné ověření její energetické výhodnosti vůči stávajícímu veřejnému osvětlení. Dalším bodem práce je porovnávání poskytnutých způsobů řízení veřejného osvětlení se stávajícím systémem veřejného osvětlení.

1 INTELIGENTNÍ TECHNOLOGIE

Pojem inteligentní technologie (Smart Technologies) je používán ve spoustě odvětví od školství (interaktivní tabule atd.) po energetiku (inteligentní sítě) v praxi se pak, jedná o technologie, které usnadňují komunikaci a řízení (např. obr. 1.1). Jsou to takové technologie, které za předpokladu dodržení vnějších pravidel a podmínek nabízí rozvoj jednotlivých technologických odvětví. Nejčastěji se s pojmem inteligentních technologií setkáváme v případě inteligentních měst. Zde jsou zaváděny převážně kvůli zastaralosti stávajících technologií a snaze o úsporu energií a modernizaci (zrychlení řízení, větší možnosti řízení, pohodlnější ovládání) stávající infrastruktury [1].



Obr. 1.1: Využití inteligentních technologií [6]

Dalším prostředím kde se setkáváme, s výše uvedeným pojmem jsou inteligentní sítě. Inteligentní proto, že jejich funkce spočívá v možnosti regulace výroby a optimálního přenosu energií od společností k zákazníkům. Základní funkcí těchto inteligentních sítí je přenos dat od řídicích center k zákazníkům a naopak. Tímto je zajištěna informovanost jak zákazníků, tak společností o aktuálním stavu a odběru energetické rozvodné sítě [1].

1.1 Inteligentní sítě

Inteligentní sítě (Smart Grids) jsou společným jmenovatelem pro vývoj rozvodných sítí nízkého a středního napětí. Díky novým technologiím se rozvodné sítě stávají inteligentnějšími a pružnějšími než je tomu doposud. Hlavní iniciativou rozvoje chytrých sítí je zvyšování spolehlivosti dodávek energie a podpora trendu udržitelnosti distribuce energií. V tomto okamžiku nelze sítě nízkého a středního napětí dálkově řídit a pozorovat, proto se různé národní i nadnárodní společnosti zabývají vývojem technologií se zaměřením na chytré sítě. Jejich zaměření však spočívá spíše v řešení technologických inovací místo toho aby se zabývali analýzou současných rozvodných sítí a strukturovaného přístupu k řešení problému zastaralosti stávajících sítí. Společnosti se zaměřují na výrobu a vývoj různých druhů senzorů, protokolů, komunikačních zařízení a dalších, z důvodu rychlejšího přestupu ze stávajících sítí na chytré sítě. Bohužel mnoho z těchto senzorů i ostatních vyvíjených zařízení a protokolů nenašlo širšího uplatnění tak, aby mohla být vypracován pozitivní obchodní nabídka. Stručně řečeno, vyvíjí se nové a nové technologie, vzniká však příliš málo obchodních příležitostí. Další skutečností, která brzdí vývoj a posun chytrých sítí je fakt, že někteří výrobci neúspěšných technologií obviňují provozovatele rozvodných sítí z jisté konzervativnosti. Místo aby se zabývali řešením problému poměru ceny a výkonu u svých výrobků a nabízeli tak více optimálních možností a návrhů pro provozovatele rozvodných sítí [5].

Navzdory výše zmíněným skutečnostem investuje spousta zemí do projektů, ve kterých se snaží transformovat stávající rozvodné sítě na sítě inteligentní. Přejít na chytré sítě i přes problematiku aplikace a transformování přináší do oblasti přenosu řadu výhod. Tyto výhody přináší zprostředkovanně za pomoci řešení uplatňujících se na straně výroby, distribuce a spotřeby. Výroba elektrické energie zprostředkovanně chytrými sítěmi těží především z faktu, že uplatněním jejich principů se radikálně zvýší možnost využití obnovitelných zdrojů. Což je jedním z hlavních důvodů investic zemí do projektů chytrých sítí [5].

1.2 Inteligentní města

Inteligentní města (Smart Cities) hrají stále důležitější roli v udržitelnosti hospodářského rozvoje určitého místa. Počet obyvatel neustále přibývá, v roce 2020 se očekává nárůst populace na hodnotu 7,5 mld. S touto skutečností jde ruku v ruce nárůst spotřeby elektrické energie a zvyšování nároků na její výrobu. Inteligentní města jsou považována za klíčový prvek v řešení problému postupně zvyšovanému odběru elektrické energie. Mají za úkol nejen snížit nároky na spotřebu elektrické energie ale díky své ekonomické a sociální rozmanitosti, také usnadnit udržitelnost

infrastruktury měst. Dále pak mají usnadnit udržitelný rozvoj průmyslu, budov i občanů. Neposlední důležitou vlastností chytrých měst je snižování úrovně emisí skleníkových plynů. Které zaznamenávají vzrůst o 40 % za posledních 20 let [7].

Implementace projektů inteligentních měst je rozdělena do těchto fází:

- Sběr dat a ovládání,
- Agregace sítí spojujících senzory a aktory s aktuálními sítěmi,
- Platformu pro sběr a ukládání dat,
- Aplikace informující manažery měst a občany.

Aby bylo, možné splnit cíle projektu inteligentních měst je důležité dosáhnout vyššího povědomí o spotřebě, distribuci a výrobě elektrické energie. Důsledkem dosažení vyššího povědomí je umožnění modelování, poskytování nových protipatření a akčních plánů za účelem zmírnění vlivů současného nadměrného čerpání elektrické energie. Také je nutné implementovat škálovatelnost, rozšiřitelnost a zahrnutí nových zdrojů [7].

Nejčastěji se transformování stávajících měst na města inteligentní týká modernizace rozvodné sítě. V tomto případě se jedná o aplikování dílčích možností chytrých sítí, například zavedení nových elektroměrů, které umožňují komunikaci odběratele s dodavatelem. Modernizaci zastaralých rozvodných sítí neumožňujících datovou komunikaci. Dále pak realizování projektů inteligentního řízení dopravy, svozu odpadu atd. V neposlední řadě je důležitou součástí chytrých měst modernizace stávajícího veřejného osvětlení [8].

Tato práce se dále zabývá problematikou systémů veřejného osvětlení, které jsou nedílnou součástí měst. Zaměřuje se pak na inteligentní systémy veřejného osvětlení jakožto součásti inteligentních měst.

2 INTELIGENTNÍ VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ

Veřejné osvětlení slouží z velké části pro bezpečnost, ať už chodců nebo řidičů. Podle různých studií z více zdrojů vede stmívání a samotná tma, zejména v případě chodců, k růstu pravděpodobnosti umrtí o 3–6 krát větší počet než ve dne [10].

Jak již bylo uvedeno výše, modernizace veřejného osvětlení je důležitou součástí nejen konceptů chytrých měst. S růstem počtu obyvatel, který za posledních 5 let vzrostl o 700 mil ob/ m^3 v městských oblastech [12], roste i potřeba měst zvyšovat počet osvětlení ulic, silnic, dálnic, parkovišť a parků. Veřejné osvětlení obecně můžeme rozdělit do dvou kategorií podle charakteru jeho použití. A to na osvětlení, které plní charakter čistě praktický a osvětlení estetického charakteru. Toto rozdělení je důležité z hlediska spotřeby elektrické energie kdy osvětlení estetického charakteru má vyšší spotřebu, než v případě praktického a zvyšuje tak i cenu místa kde se nachází. Dalším z problému stávajících osvětlení je náročnost na údržbu. Ta se musí z důvodu bezpečnosti pracovníků správy osvětlení provádět v noci, aby nedošlo k ohrožení osob, popřípadě řidičů v případě nehody nebo pádu ať už pracovníka nebo části osvětlení [11].

Úkolem inteligentního veřejného osvětlení je tedy:

- Redukce spotřeby elektrické energie,
- Snížení produkce skleníkových plynů,
- Snížení poruchovosti,
- Zjednodušení oprav,
- Bezpečnější pohyb řidičů a chodců.

Tohoto lze dosáhnout zavedením řízení osvětlení systémy spolupracujícím se širokou škálou aktorů a senzorů. Ty by měli zrychlit reakční dobu při řešení problému poruch. Jejich správnou komunikací je zajištěn nižší odběr, čímž se snižuje znečištění ovzduší atd. Inteligentní osvětlení není trendem současnosti, což dokazuje jeden z prvních ovládacích systémů, který byl patentován v roce 1999 firmou *Intelilite, L.L.C.* ve Spojených Státech Amerických, který automaticky řídil osvětlení na základě dat poskytovaných senzory. V současnosti se inteligentním veřejným osvětlením zabývají společnosti po celém světě. Zaměřují se na nové možnosti řízení osvětlení. Úspěšně aplikují navrhované systémy pro řízení veřejného osvětlení a nahrazují zastaralé neekonomické a neekologické osvětlení [11].

2.1 Systémy řízení veřejného osvětlení

Níže popsané systémy mají jeden společný prvek, kterým se zásadně liší od v současnosti používaných systémů řízení veřejného osvětlení (VO). Tímto prvkem je

obousměrná komunikace, kde čidla, senzory, rozvaděče a další prvky komunikují s dispečinkem. Tyto prvky podle nastavení, nebo podle systému posílají informace jak o svém stavu tak o stavu svého okolí a umožňují tak efektivní a ekonomicky výhodně řízení.

Naproti tomuto faktu stojí zastaralé systémy, fungující na principu časového spínače nebo světelného čidla. Příkon se při zapínání pozvolna zvyšuje a postupně se zapínají světelné body aby nedošlo k přetížení sítě. Tyto systémy ve většině případů neposkytují dálkové odečty spotřeby nebo monitoring stavu osvětlení. Větší města využívají evidenční dokument v elektronické podobě s tabulkovými a grafickými mapovými výstupy. Nejčastěji používaným světelným zdrojem v těchto systémech jsou sodíkové a halogenové výbojky.

2.1.1 Inteligentní systém řízení osvětlení (Intelligent outdoor lighting control system), Intelilite, LLC

Systém pro řízení osvětlení funguje na principu přídavných modulů, které zajišťují automatické odesílání, sdělování a nahrávání dat týkajících se funkčnosti systému řízení osvětlení tak, aby bylo možné ho řídit a udržovat co nejefektivněji a v co nejkratším reakčním čase [13].

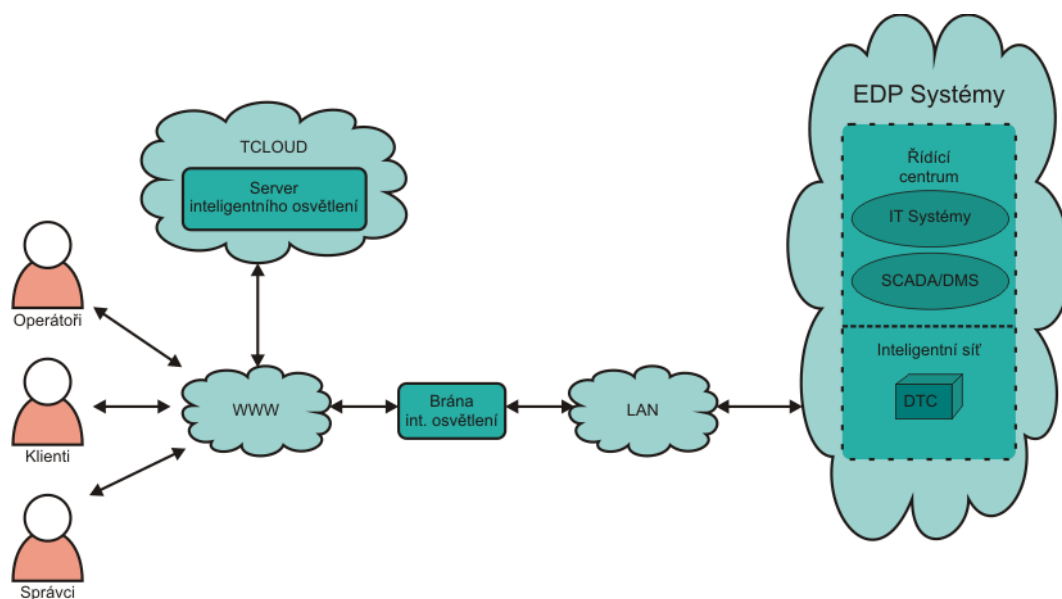
Oblast kde je systém zaváděn může být rozdělena do několika podoblastí z nichž každou řídí kontrolní modul. Druhou možností je, že každé jedno z osvětlení v dané oblasti bude obsahovat jeden modul. Tento modul přijímá elektrickou energii a dále ji dodává do sousedních podoblastí. Každý z modulů obsahuje dvě relátka, jedno dodává proud pro osvětlení v dané podoblasti a druhé pro přepínání elektrické energie do následující podoblasti. Dále obsahuje dva proudové senzory, první snímá vstupní proud a druhý snímá proud výstupní. Data z každého kontrolního modulu jsou posílána přes PLC do datové centrály kde jsou vyhodnocována a následně zasílána zpět kontrolním modulům [13].

2.1.2 Inteligentní systém osvětlení (Smart lighting system), TClouds

Architektura cloudů od společnosti TClouds je zaměřená na poskytování inkrementálně se zvyšující úrovně bezpečnosti a spolehlivosti infrastruktury cloudů. Snaží se o otevřený, modulární a všestranný systém, založený na *cloud-of-clouds*¹ paradigmatu. Architektura TClouds (obr. 2.1) nabízí dosažení těchto cílů především

¹cloud-of-clouds -rozšiřující soubor cloudů od různých poskytovatelů

rekonfigurací a opětovným použitím stejných základních prvků, například protokolu *intrusion-tolerant*² [14].



Obr. 2.1: Struktura systému TCloud [14]

Veřejné osvětlení řízené pomocí těchto cloudů je navrženo tak aby přistupovalo adresně do výše zmíněných cloudů a využívalo jejich výpočetní výkon. Tento přístup je zcela odlišný ve srovnání s tradiční architekturou řízení osvětlení. Sestává se z webové aplikace, hostující v cloudu. K aplikaci mohou přistupovat pouze autorizovaní uživatelé, a to přes podvrstvu infrastruktury inteligentních sítí. Uživatel takto získá informace a data z řízení veřejného osvětlení. Systém řízení veřejného osvětlení využívá bezpečnostních protokolů TClouds a zajišťuje bezpečnost informací a odolnost proti průniku z vnějšku.

Aplikace/systém poskytuje tyto funkce:

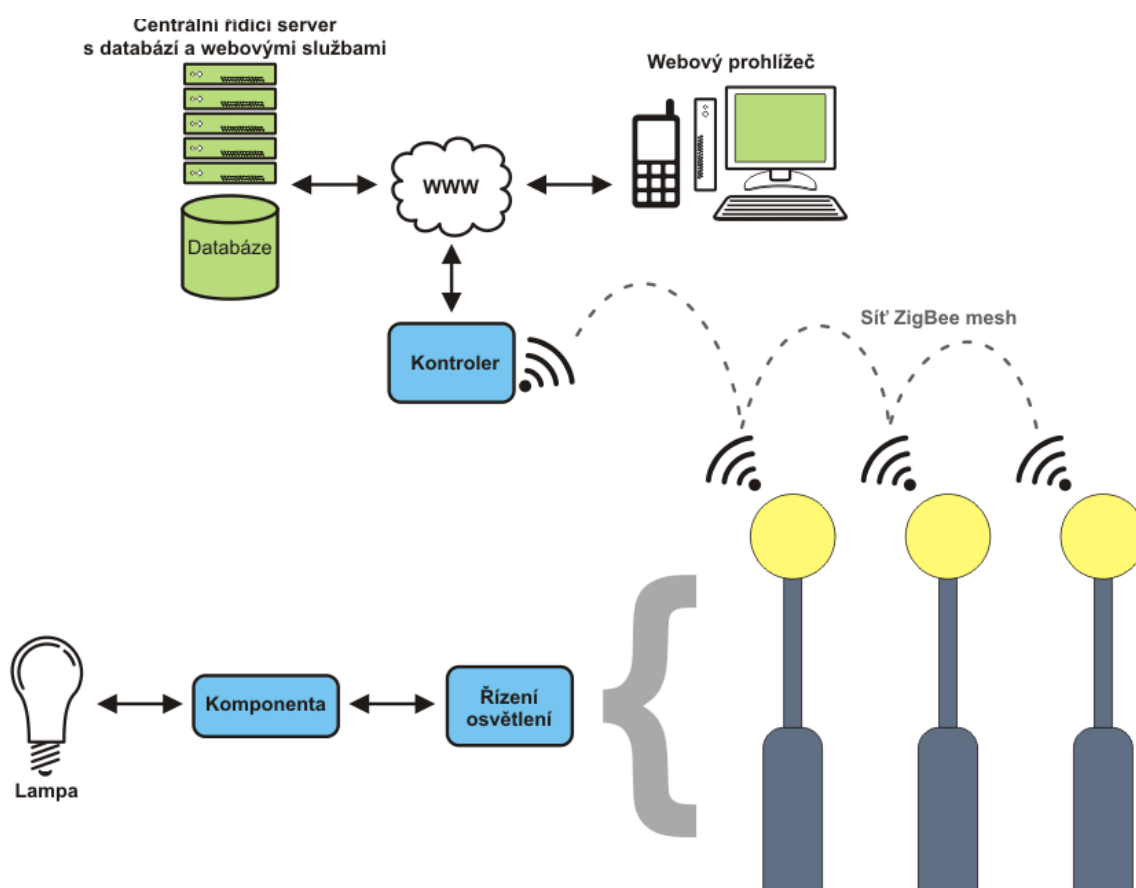
- Příkazy on/off,
- Okamžitý stav sítě,
- Okamžitá i dlouhodobá spotřeba energie,
- Plány aktualizací pro klienty a operátory sítě.

²intrusion-tolerant - protokol odolný vůči konstrukčním chybám, sloužící k zabezpečení systému před útoky

2.1.3 Owlet-Inteligentní ovládání pro efektivní osvětlení (Owlet-Smart control for efficient lighting), Schröder

Owlet firmy Schröder funguje na principu kombinujícím prvky výše zmíněných systému (obr. 2.2). Základním prvkem systému jsou kontrolery, ty mohou být použity na různé druhy a typy osvětlení. Owlet kontrolery tak poskytují možnosti elektroměru, spínací a stmívací funkce a v neposlední řadě bezdrátovou komunikaci, spolu s hlášením poruch. Systém lze řídit přes webovou aplikaci, která podporuje všechny dostupné internetové prohlížeče. Správce tak má přístup k veřejnému osvětlení kdykoliv a kdekoliv. V praxi pak může za pomoci tabletu, notebooku nebo jiného přístupového zařízení vyhledat a opravit poruchu ve velmi krátkém čase [16].

Systém Owlet umožňuje využití autonomního subsystému ANDI. Hlavními benefity subsystému ANDI jsou nízká hardwarová náročnost, snadná konfigurace a absence potřeby serveru. Po prvotním nastavení je subsystém řízen senzory a kontrolery, čímž se stává soběstačným. Kontrolery zajišťují stmívací funkce podle zadaných časových profilů a senzory naopak rozsvěcují světla podle pohybu, počasí a dalších eventualit.

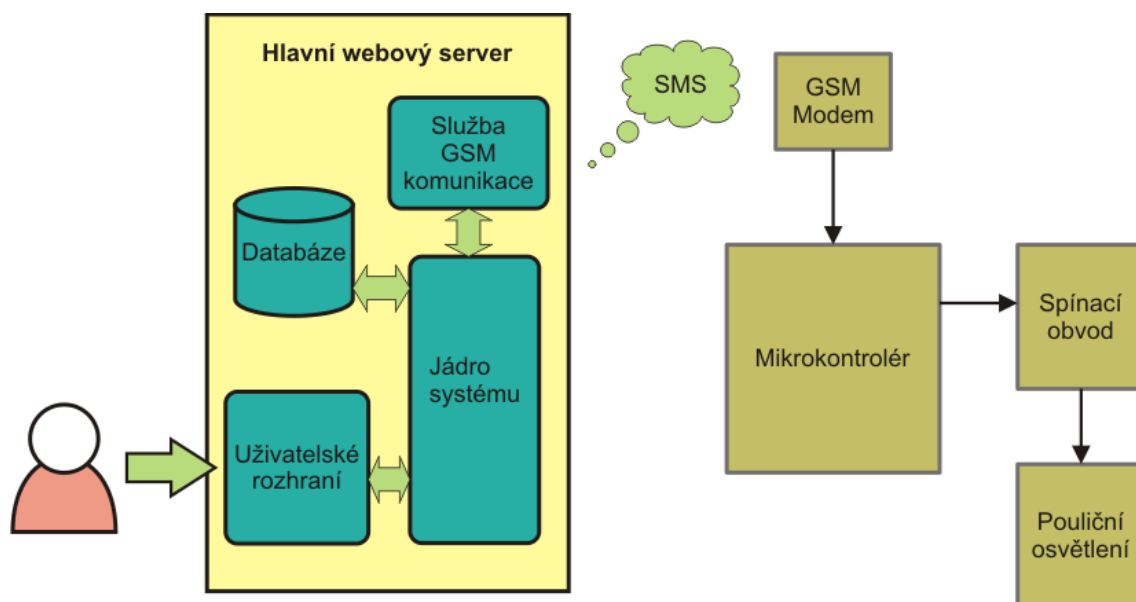


Obr. 2.2: Struktura systému Owlet [16]

2.1.4 Systém a ovládání inteligentního veřejného osvětlení na bázi GSM (GSM Based Smart Street Light Monitoring and Control System)

Automatizovaný systém, navržený pro zvýšení účinnosti a přesnosti ovládání automaticky kontrolovaných časových spínačů veřejného osvětlení. Systém poskytuje nové ekonomické řešení ovládání veřejného osvětlení (struktura systému obr. 2.3) [10].

Součástí tohoto systému je mikrokontroler (Atmel AT89C51), který podle časového nastavení spíná a vypíná veřejné osvětlení a současně zasílá aktualizace přes telefon na vybrané telefonní číslo. Systém lze teoreticky rozdělit na dva moduly obsahující klientskou stranu a stranu serveru. Klientská strana zahrnuje GSM modem propojený s mikrokontrolerem. Strana serveru zahrnuje JAVA webový server založený, hlavní prostředek pro komunikaci s uživatelem, databázi a GSM komunikačního manažera [10].

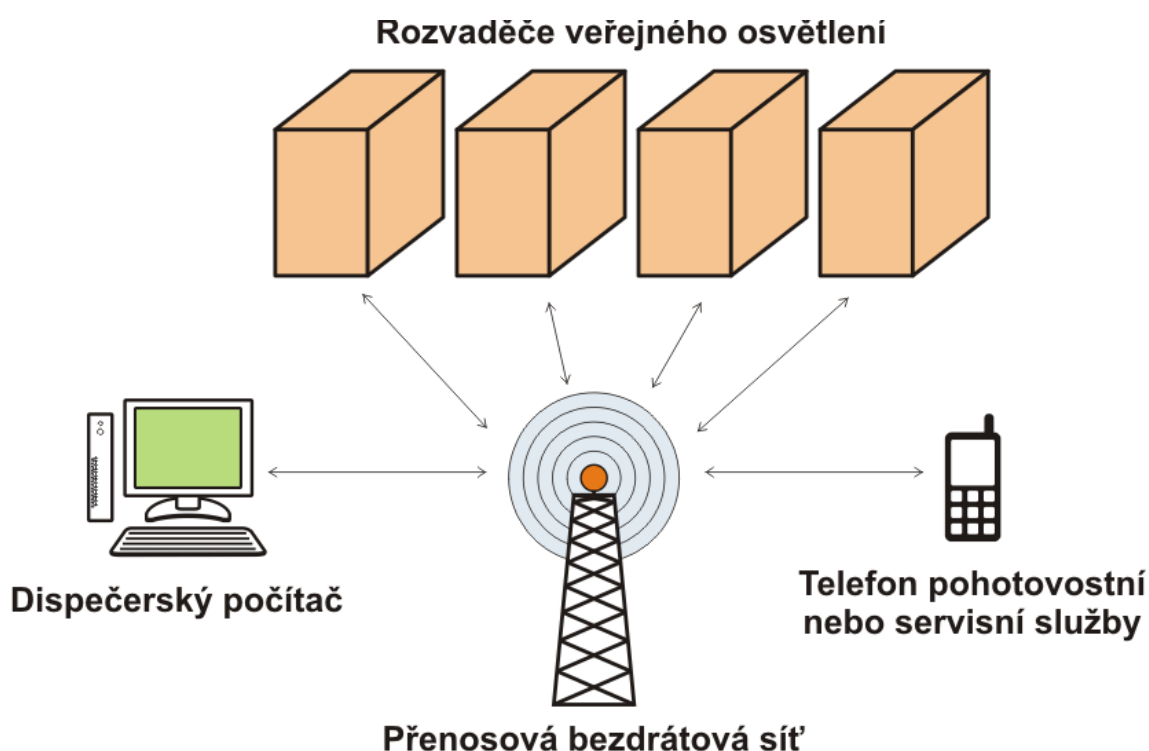


Obr. 2.3: Struktura systému GSM [10]

Výhodou tohoto systému je možnost ovládat kompletní osvětlení města z jednoho bodu a kontrolovat tak spotřebu elektrické energie. Další výhodou je jednoduché zapínání a vypínání osvětlení podle potřeb na specifickém místě, čímž dochází k efektivnější spotřebě elektrické energie. Systém dále umožňuje snadno přidávat další koncové body bez drastických zásahů do systému.

2.1.5 Systém CREDIT (Control and Regulation of Discharge Tubes), Axima

Je navržen jako jednoduchý a zároveň maximálně účinný nástroj k řízení výbojkového osvětlení (obr. 2.4). Základním prvkem je rozvaděč veřejného osvětlení, který poskytuje spínání až osmácti světelných větví. Větve jsou dále rozděleny do skupin po třech (tzn. šesti nezávislých tří-fázových vývodů). Paměť řídicího systému rozvaděče má pevně naprogramovaný roční harmonogram zapínání a vypínání osvětlení. Každý rozvaděč je vybaven fotosnímačem umožňujícím automatickou úpravu zapínání či vypínání podle aktuálních světelných podmínek a GSM modemem pro bezdrátovou komunikaci. Stav rozvaděče sleduje řídicí systém na dané větvi (bodu) a vyhodnocuje provozní a poruchové stavy. Data jsou následně odesílána na dispečik [17].



Obr. 2.4: Struktura systému CREDIT [10]

Každá z větví zasílá technologická data třemi různými způsoby (podle požadavků uživatele):

- **SMS zprávy** – tento způsob funguje podobně jako mobilní telefony, při vložení SIM karty do rozvaděče získá obsluha systému přístup do sítě vybraného mobilního operátora. Data jsou pak na dispečink zasílána pomocí kódovaných zpráv,

- **Radiový přenos** – pro komunikaci přes rádiový přenos je rozvaděč rozšířen o radiomodem, tato komunikace umožňuje nepřetržité spojení s dispečinkem a tím pádem i aktuální data,
- **WiFi** – zapojení rozvaděče do WiFi sítě získá uživatel opět aktuální data o spotřebě či stavu osvětlení, avšak výrobce garantuje rychlost přenosu až 10 Mb/s. Výstavbou WiFi sítě dále uživatel získává efektivní pokrytí středně velkých oblastí signálem Ethernetu, čehož lze využít u obcí při poskytování internetu.

2.1.6 Komparace systémů řízení veřejného osvětlení

Uvedené systémy jsou příkladem různorodosti řešení řízení veřejného osvětlení. Neumožňují však (kromě systému Owllet) regulaci příkonu a tím pádem intezitu osvětlení, nebo vůbec nejsou navržena pro použití LED osvětlení (systém Credit). Výhody LED světelných zdrojů jsou popsány níže, jejich zaváděním do systému veřejného osvětlení dosáhneme vyššího využití systémů samotných. Regulace příkonu a intezity osvětlení umožňuje především efektivní osvětlení méně frekventovaných míst (parky, odlehlé ulice, parkoviště). Kde lze pomocí senzorů spínat osvětlení až při průchodu člověka. Umožňuje, sepnutím na vyšší výkon při detekci člověka, dosažení zlepšení osvětlení přechodů při zachování stejného druhu lamp. Návrhem systému využívajícího výhod řízení příkonu a intezity LED světelných zdrojů se tato práce zabývá níže.

2.2 Světelné zdroje

2.2.1 Halogenidové výbojky

Fungují na principu výboje zapalovaného vnějším zapalovacím zařízením, které zajišťuje vysokonapěťový impuls s amplitudou 1,8–5 kV. Výboj nejdříve probíhá v parách rtuti a inertního plynu, u bezrtuťové výbojky v xenonu. S postupným nárůstem teploty se zvyšuje koncentrace halogenidů ve výboji. Teplotní režim výbojky se ustálí během asi 5–10 min podle typu. Při pracovní teplotě hořáku se v oblasti jeho osy s vysokou teplotou halogenidy štěpí na atomy halogenu a atomy příslušného kovu, které se vybudí a září. Současně se vytváří gradient koncentrace těchto atomů v radiálním směru, které následně difundují ke stěnám hořáku s nižší teplotou, kde se opět slučují na původní sloučeniny [18].

Halogenidové výbojky lze z konstrukčního hlediska hořáků rozdělit do dvou základních skupin a to na výbojky s křemenným hořákem a výbojky s keramickým hořákem. Veřejné osvětlení využívá převážně výbojek s křemenným hořákem důvodem

je nižší technologická náročnost na výrobu než u výbojek v keramickém hořáku. Náročnost na výrobu je i tak dost velká a s tím to faktem jde ruku v ruce i vysoká cena halogenidových výbojek. Mezi další nevýhody patří poměrně velká citlivost parametrů výbojek na kolísání napětí sítě, velký rozptyl kolorimetrických parametrů (výrobci přiznávají možné změny teploty chromatičnosti v intervalu $\pm 600\text{ K}$) a v neposlední řadě změna kolorimetrických parametrů v závislosti na poloze svícení [18].

2.2.2 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Jsou to světelné zdroje, v nichž je světlo vyzařováno hlavně sodíkovými parami s provozním parciálním tlakem 3–60 kPa. Výboj v parách sodíku se od třicátých let minulého století využívá v nízkotlakých sodíkových výbojkách, v nichž tlak par sodíku při pracovní teplotě 207 °C dosahuje 0,5 kPa. Sodík se vyznačuje intenzivním rezonančním dubletem ve žluté části spektra s vlnovou délkou 589,0/589,6 nm, která se blíží maximu spektrální citlivosti lidského oka. Měrný výkon těchto výbojek dosahuje až 200 lm/W. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají velmi špatné podání barev. Všechny barvy osvětlovaných předmětů, kromě oranžové, se jeví jako barvy šedé různé sytosti. Přes tyto nedostatky se používají hlavně při osvětlování dálnic [19].

Zvyšováním tlaku par sodíku světelná účinnost klesá, prochází minimem a dále opět roste, takže při tlaku 10 kPa dosahuje druhého maxima a v závislosti na různých parametrech může dosáhnout výše zmíněných 200 lm/W. S rostoucím tlakem par sodíku se výrazně rozšiřují spektrální čáry a vzniká silné spojitě záření při současném růstu absorpce rezonančního záření. Spektrum záření je bohatší, což má za následek i lepší podání barev osvětlovaných předmětů. S využitím výboje v parách sodíku lze tedy získat světelné zdroje, jejichž kvalita světla se pohybuje ve velmi širokém rozmezí [19].

Dodržováním provozních podmínek dosahují výbojky životnosti 16 000–30 000 h. Ukončení života je dáno postupným nárůstem napětí na výbojce. Při překročení určitého poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí sítě výboj zhasne. Po vychladnutí výbojka znovu zapálí a celý cyklus se opakuje. Periodické zhasínání výbojek je příznakem ukončení života a je nutné výbojku vyměnit. Tento jev byl už odstraněn vhodným zásahem do konstrukce hořáku. Život výbojek je možno prodloužit použitím dvou hořáků kdy jeden z nich jeden je použit při krátkodobém výpadku proudu nebo při závadě prvního hořáku [19].

2.2.3 Elektroluminescenční diody

Světelné zdroje fungující na principu polovodičového přechodu. Zde působením vnějšího pole nábojové páry překonávají bariéru a při vzájemné rekombinaci vracejí zís-

kanou energii z dodaného zdroje zpět formou záření. Velikost energetické bariery udávané v elektronvoltech pak přímo určuje vlnovou délku světla. Vhodným chemickým procesem lze vytvořit takové polovodiče, jejichž energie přechodu odpovídá zářivé energii ve viditelné oblasti. Jelikož je polovodič poměrně homogenní a čistá struktura, je velikost energie určena chemickým složením jednotlivých částí, a záření tak probíhá jen ve velmi malém rozsahu vlnových délek [20].

Takto generované světlo je nepoužitelné pro osvětlovací účely protože by nebylo možné rozlišovat jiné barvy. Pro rozšíření spektra se používají dva přístupy. Jedním je princip transformace monochromatického světla do širokopásmového záření pomocí luminescence pevných látek na bázi fosforu a jiných sloučenin emitujících světlo. Druhým je použití více chromatických světél, obvykle v kombinaci červená, modrá a zelená. Implementace LED osvětlení z teoretického hlediska přináší spoustu výhod od nižší spotřeby energie, delší životnosti po lepší svítivost a podání barev. Nevýhodami pak je nutnost chlazení, potřeba přesného vstupního proudu, pokles svítivosti za dobu životnosti a stále poměrně vysoká cena. V následující tabulce (tab. 2.1) je srovnání měrného výkonu, životnosti a činitele podání barev LED zdrojů s ostatními zdroji používanými ve VO [20].

Tab. 2.1: Porovnání světelných zdrojů

Typ světelného zdroje	Měrný výkon (lm/W)	Jmenovitý život (h)	Činitel podání barev R_a (%)
Zářivky	63–85	8000–18000	60–98
Nízkotlaké sodíkové výbojky	100–175	8000–12000	/
Indukční výbojky	62–80	60000	80
Vysokotlaké rtuťové výbojky	32–60	8000–12000	50–63
Halogenidové výbojky	64–100	5000–15000	83–90
Vysokotlaké sodíkové výbojky	70–150	8000–28000	25–30
LED zdroje	24–180	20000–70000	40–90

2.2.4 Komparace světelných zdrojů

Reálné srovnání LED zdrojů a vysokotlakých sodíkových výbojek použitých na osvětlení ulice ukazuje tabulka (viz. příloha tab. A.1). V tabulce je technicko-ekonomické srovnání obou variant osvětlení komunikace. Je předpokládána stejná cena

elektrické energie a aktuální cena LED techniky což jsou faktory které se v následujících letech mohou měnit. Obě svítidla poskytují srovnatelný výsledek osvětleností a splňují požadavky na normy ČSN EN 13201. Uvažováno je období 70 000 provozních hodin (životnost LED zdrojů), za toto období by došlo třikrát k výměně sodíkové výbojky. U LED osvětlení by byla prováděna běžná údržba ovšem po uplynutí provozní doby by bylo nutné toto světlo vyměnit celé. V úvahu je v případě výběru osvětlení potřeba brát konstrukční prvky kdy je rozdíl mezi zpracováním z plechu a plastu oproti kvalitnímu litému hliníku. Výbojkové svítidlo zpracované právě z litého hliníku může mít životnost delší než 12 let [21].

Při rozhodujícím výběru je pak na daném investorovi, obci, nebo společnosti jaký zdroj zvolí důležitý je však individuální přístup k dané oblasti kde bude VO instalováno a zpracování relevantní technicko-ekonomické zprávy. V případě LED světel je nespornou výhodou jejich světelné spektrum, možnost regulace výkonu a nízké provozní náklady. Neposlední kladnou vlastností LED svítidel je jejich design na který je ve většině velkých měst kladen důraz. Kladných vlastností LED svítidel je využito i při návrhu vlastního systému řízení veřejného osvětlení.

2.3 Komunikační standardy

Intelligentní veřejné osvětlení je založeno z velké části na zajištění datové komunikace. Jelikož se problematikou veřejného osvětlení zabývají různé společnosti a zavádějí nepřeborné množství modulů a senzorů je nutné zajistit jejich správnou komunikaci, což v rámci produktů dané společnosti není problém. Problém nastává při kombinaci zařízení od různých společností, toto řeší soubory komunikačních norem.

2.3.1 Standardy IEC

Normy mezinárodní elektrotechnické komise (International Electrotechnical Commission - IEC), která je přední světovou organizací. IEC připravuje a vydává Mezinárodní normy pro veškeré elektrické, elektronické a další související technologie.

V rámci inteligentních sítí IEC zaštituje přes 100 souborů norem. Jednou z nejdůležitějších je soubor IEC 61850. Soubor norem specifikující metody komunikace a komunikačních protokolů pro oblast energetiky a energetických soustav. Umožňuje vytváření flexibilních komunikačních systémů v rozvodnách a mezi dalšími členy energetické soustavy. Obsahuje definice komunikačních protokolů a normy řídicích funkcí. V oblasti inteligentního osvětlení jsou důležité normy IEC 60929 a IEC 62386 [22].

IEC 60929

Soubor norem zahrnující předřadník ve střídavých zdrojích do napětí 1000 V s operační frekvencí od 50 do 60 Hz. Operační frekvence může být proměnlivá v závislosti na zadaném napájecím kmitočtu. Normy v podstatě pokrývají to samé co soubor IEC 60921, jsou jen mnohem komplexnější, právě kvůli frekvenci pokrytých elektronických zařízení [22].

IEC 62386

Soubor norem specifikujících protokol a zkušební metody pro kontrolu digitálních signálů elektronickými předřadníky. Zahrnuje použití pro střídavé i stejnosměrné zdroje napětí spojené s osvětlením. Tato i výše uvedená norma jsou součástí souboru standardu DALI [22].

2.3.2 Digital adresable lighting interface (DALI)

Jedná se o soubor technických norem pro systémy řízení osvětlení a automatizace budov. Je stanoven jako nástupce systémů řízení osvětlení a jako alternativní otevřený standard k digitálnímu sériovému rozhraní (DSI), na jehož základě je založen [23].

Sestává se z kontroleru a jednoho nebo více světlených zařízení (např. předřadníky a stmívače), které mají integrované rozhraní DALI. Kontroler má funkci sledování a řízení světelného zařízení, prostřednictvím obousměrné komunikace. Každé zařízení může být řízeno jednotlivě nebo může být zahrnuto do skupiny zařízení, kterou pak lze řídit hromadně [23].

Zařízení mají přidělenou adresu z adresního prostoru od 0 do 63, což umožňuje řízení až 64 zařízení v samostatném systému. Alternativní možností je použití systému DALI jako subsystému a pomocí bran je pak umožněno řízení většího počtu zařízení než je uvedených 64 adresních míst. Datový provoz je sprostředkován asynchronním, half-duplex, sériovým protokolem přes dvoulinku s pevnou přenosovou rychlostí 1200 bit/s. DALI vyžaduje jeden pár vodičů k vytvoření sběrnice pro komunikaci do všech zařízení na jedné síti DALI. Síť může být uspořádána do sběrnice nebo hvězdicové topologie. Možná je i kombinace obou topologií. Systém není klasifikován jako SELF (Separated Extra Low Voltage), a proto může běžet se síťovými kabely nebo v multi-core kabelu, který obsahuje síťové napájení. Data DALI jsou přenášena pomocí kódování Manchester a mají vysoký poměr signál/šum, umožňující spolehlivou komunikaci za přítomnosti velkého množství elektrického šumu. DALI používá diodový most v obvodu rozhraní, takže zařízení lze připojit bez ohledu na polaritu. Úroveň signálu je definována jako $0 \pm 4,5 \text{ V}$ pro *nulu* a $16 \pm 6,5 \text{ V}$ pro

jedničku. Pomocí dodatečného rozšíření umožňuje DALI bezdrátovou komunikaci prostřednictvím WiFi nebo rádiových sítí [23].

2.3.3 ZigBee

ZigBee je specifikace pro sadu vysokoúrovňových komunikačních protokolů používaných k vytvoření bezdrátových PAN (personal area network) sítí, fungují na principu malých nízkonapěťových rádiových modulech. Základem této technologie je norma IEEE 802.15.4. ZigBee vznikl na popud nepoužitelnosti normy IEEE 802.15.1 (Bluetooth) v průmyslových aplikacích. ZigBee je navržen jako jednoduchá a flexibilní technologie pro tvorbu nejen malých PAN sítí ale i rozsáhlejších bezdrátových sítí u kterých není vyžadován přenos velkého oběmu dat.

ZigBee dbá na maximální jednoduchost implementace protokolů, jeho struktura tak zabírá maximálně 30 kB programové paměti. Jeho protokol se skládá ze tří základních vrstev [24]:

- **Fyzická vrstva** – obsahuje standard IEEE 802.15.4 a specifikuje přístup k přenosovému mediu.
- **Síťová vrstva** – realizuje připojení k síti, zabezpečení a směrování paketů.
- **Aplikační vrstva** – zajišťuje potřebné služby a skládá se ze subvrstev (aplikační podvrstva, ZigBee objekty, uživatelské aplikační objekty).

ZigBee definuje tři různé síťové topologie. Základní je hvězdicová topologie s centrálním řídicím uzlem. Druhá je stromová topologie umožňující zvětšit vzdálenost centrálního řídicího uzlu od koncového zařízení. Poslední topologií je mesh, která zajišťuje vytvoření sítě s libovolným uspořádáním. Jednolivá zařízení sítě jsou adresována pomocí binárního kódu o délce 64 bitů nebo ve zkrácené formě 16 bitů [24].

Zakladním zabezpečením ZigBee je kódování AES (Advanced Encryption Standard) o délce 128 bitů a je implementován v síťové vrstvě [24].

Jednoduchost a nenáročnost jsou hlavními prioritami pro volbu bezdrátové technologie ZigBee do níže navrhovaného systému pro řízení veřejného osvětlení. ZigBee je jednou z nejlevnějších a nejkompaktnějších variant pro řízení obecně. Nevýhodou může být malý dosah, který se dá do určité míry kompenzovat topologií mesh.

Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN)

Protokol využívá stejnou sadu standardů IEEE 802.15.4, jako protokol ZigBee. Jedná se o protokol pro nízkonákladový a nízkenergetický bezdrátový přenos dat. Pro řešení chyb využívá protokolu CSMA/CA. Protokol je využitelný jako základ právě pro ZigBee. Jeho hlavními prioritami jsou jednoduchost a nenáročnost díky kterým byl zvolen pro simulaci navrženého systému řízení veřejného osvětlení.

3 SIMULAČNÍ PROSTŘEDÍ

Pro dosažení korektních výsledků při simulaci síťových provozů a sítí je vhodné zvolit si správné simulační prostředí. Volba prostředí by měla přihlížet na možnosti simulačního prostředí, jako jsou volitelné prvky, možnosti komplexního a flexibilního otestování všech částí, prvků sítě a uživatelskou přístupnost. V neposlední řadě je pak možnost volené simulační prostředí rozšiřovat o vhodně zvolené knihovny. Existuje mnoho simulačních prostředí, které všechny výše uvedené možnosti splňují např. OMNeT++, QualNet, Opnet IT a SSFNet. Práce využívá pro řešení systému řízení veřejného osvětlení komplexnosti simulátoru NS-3 (Network simulator 3).

3.1 NS-3 simulátor

NS-3 je síťový simulátor řízený diskretními událostmi, zaměřený především na výzkumné a vzdělávací účely. Jedná se o volně šiřitelný software, licencovaný GNU GPLv2 licenci, veřejně dostupný pro výzkum, vývoj a všeobecné použití. Cílem vývojářů NS-3 bylo vytvořit volně přístupné simulační prostředí určené pro výzkum sítí [25].

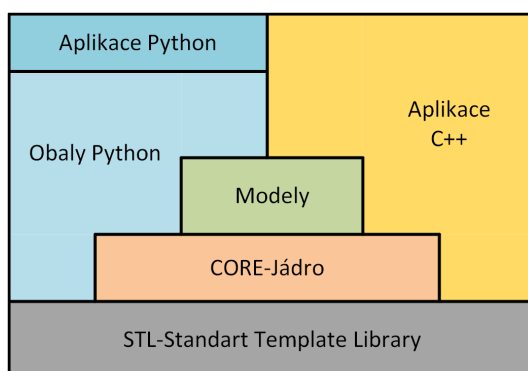
NS-3 se zavázala k vybudování pevného simulačního jádra, které je dobře zdokumentovatelné, snadno použitelné a laditelné. NS-3 vychází vstříc potřebám celé simulační workflow, od nastavení sledování simulace, shromažďování dat po analýzu shromážděných dat. Softwarová struktura NS-3 podporuje rozvoj dostatečně reálných simulačních modelů, aby bylo možné je použít v reálném čase, v propojení s reálnými sítěmi [25].

Jádro NS-3 podporuje výzkum sítí založených nejen na IP protokolu. Velká většina uživatelů se zaměřuje na bezdrátové simulování a testování zahrnující modely pro WiFi, WiMAX, LTE nebo na simulaci, na fyzické a linkové vrstvě, statických a dynamických protokolů jako jsou OLSR a AODV. Dále NS-3 umožňuje propojení a interakci s reálnými systémy. Příkladem je možnost uživatelů vysílat a přijímat pakety, generované simulátorem, na reálných síťových zařízeních [25].

NS-3 funguje v podstatě jako knihovna C++, pomocí které jsou realizovány modely a jádro. Knihovny mohou být propojeny s hlavním jádrem staticky nebo dynamicky a poskytuje sadu modelů určených pro síťové simulace. Tyto simulace jsou realizované jako objekty C++ zabalené prostřednictvím skriptovacího jazyka Python (obr. 3.1). Uživatelé pak používají tuto knihovnu pro tvorbu C++ a Python aplikací, které následně vytvoří scénář a spustí simulaci [25].

Všeobecně lze postup při tvorbě simulace rozdělit do následujících kroků:

- **Definice topologie** – vytvoření základních zařízení a definování vztahů mezi nimi,
- **Použití modelu** – přiřazení modelů k aplikaci,
- **Konfigurace uzlů a linek** – nastavení parametrů jednotlivých modelů,
- **Překlad simulace** – vygenerování událostí a žádaných informací a zaznamenání těchto dat,
- **Analýza výsledných informací a dat** – zpracování různými statickými nástroji,
- **Grafická vizualizace** – tvorba grafů z výsledných nebo zpracovaných dat.



Obr. 3.1: Struktura simulátoru NS-3

3.2 Výhody NS-3 simulátoru

Při porovnání s ostatními, ať už komerčními nebo volně šiřitelnými simulátory, poskytuje NS-3 následující výhody a rozdíly v návrhu.

- Narozdíl od mnoha jiných simulátorů využívajících specifické modelovací jazyky, NS-3 používá **C++** nebo **Python**. U obou dvou poskytuje dostatečnou podporu.
- Simulační události jsou jednoduché funkční procedury, u kterých můžeme přesně naplánovat kdy se mají uskutečnit. Každou funkci můžeme vytvořit v dané události.
- Poskytuje, díky nízko úroňovému rozhraní pro programování, flexibilní konfiguraci různými způsoby. Tato eventualita je spíše pro pokročilé uživatele, snadnější užívání je umožněno použitím *pomocníků* (viz programová organizace obr. 3.2). Uživatel tak má možnost volby mezi komplexnější nižší vrstvou která ovšem umožňuje větší flexibilitu a jednodušší vyšší vrstvou s asistencí pomocníků.

- NS-3 nemá standartní vývojové prostředí, což umožňuje uživatelům volbu prostředí pro tvorbu simulace. Uživatelé mohou pracovat v příkazové řádce a implementovat různé nástroje dle potřeb dané simulace.

Test			
Pomocník			
Směrování	Internet-stack	Zařízení	Aplikace
Uzly		Mobilita	
Pakety		Simulátor	
Jádro			

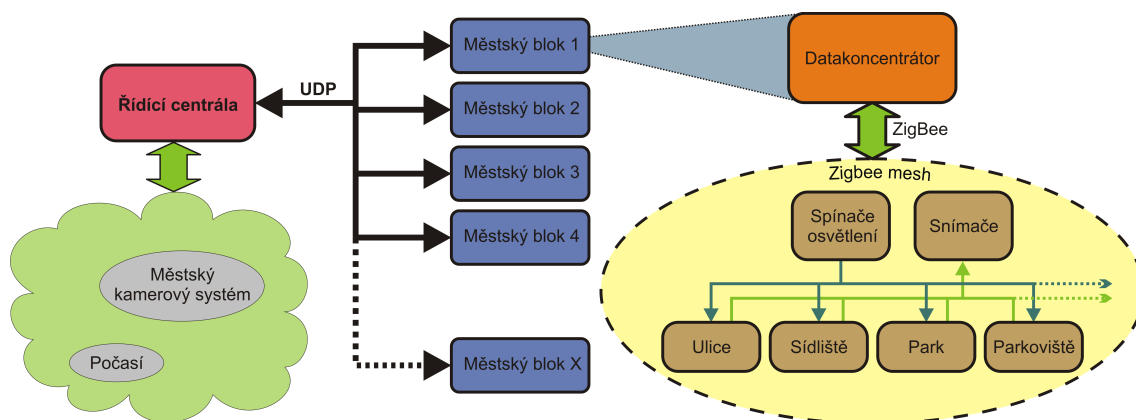
Obr. 3.2: Programová organizace NS-3

3.3 Vlastní teoretický návrh systému řízení veřejného osvětlení

Systém řízení spočívá v rozdělení oblasti do bloků, které bude spravovat řídicí centrála. Řídicí centrála bude mít za úkol zpracovávat získaná data a na základě jejich vyhodnocení, popřípadě rozhodnutí zodpovědné obsluhy řídit celý systém. Každý jeden z bloků bude spravovat datakoncentrátor. Datakoncentrátor představuje stanici, ta sbírá data ze snímačů a zasílá je v pravidelných intervalech na řídicí centrálu, popřípadě podle zadaného schématu řídí spínání osvětlení. Výhodou datakoncentrátorů je usnadnění řízení velkých prostor a možnost vzdáleného přístupu v případě mimořádné události (náhlá změna počasí, porucha). Bloky jsou dále děleny na subbloky obsahující senzory, spínače popřípadě relátka. Subblok si lze představit jako soubor ulic, nebo částí města, řízení osvětlení těchto částí tak probíhá na základě dat z přidělené komponenty (grafické schéma systému obr. 3.3).

V praxi by se mohlo jednat o rozšířenou senzorickou síť. V této síti probíhá spínání osvětlení podle určitého časového profilu nebo na základě dat zpracovaných datakoncentrátory a řídicí centrálou. Osvětlení například zapíná 18:00, komponenty sepnou osvětlení a pošlou informaci o této aktivitě datakoncentrátoru, ten je vyhodnotí, podle naprogramovaného schématu jako normální stav a pošle data o této skutečnosti centrále. Vyjmečný stav nastává například při zakrytí fotočlenu, ten zašle informaci, že se setmělo mimo časový profil, datakoncentrátor tuto skutečnost

vyhodní jako výjimečný stav a informuje centrálu. Centrála na základě dat o počasí, popřípadě propojením s městským kamerovým systémem zjistí, že fotočlen je zakryt úmyslně a zabrání rozvícení daného subbloku. Dochází tak k obousměrné komunikaci a efektivnímu řízení osvětlení.

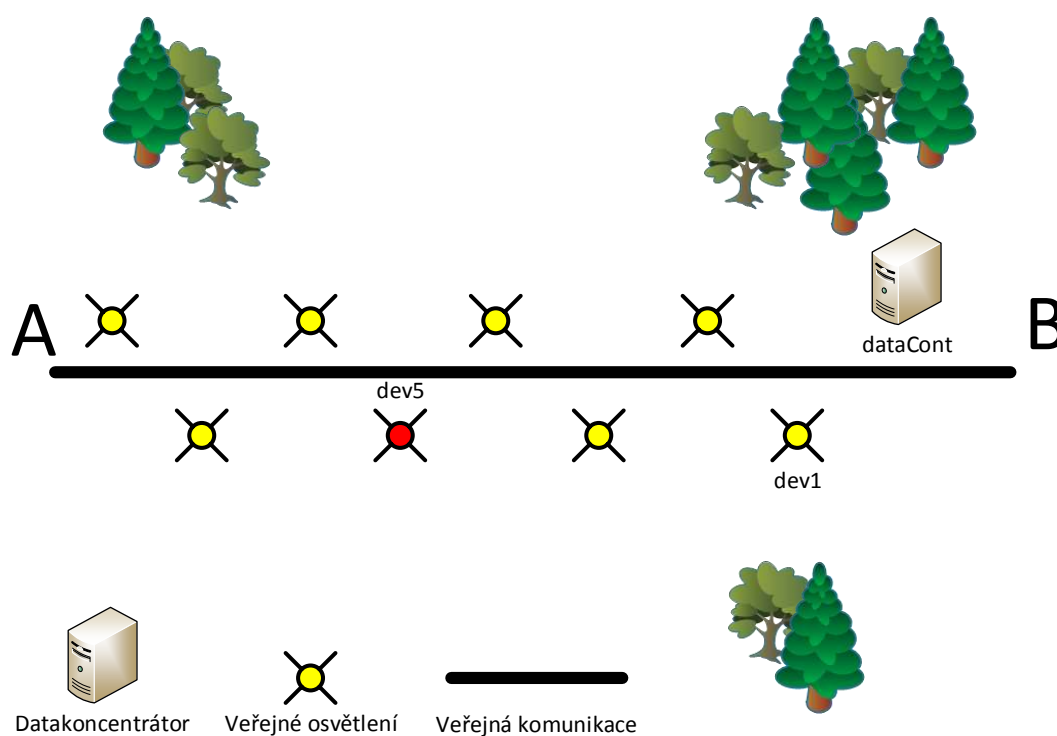


Obr. 3.3: Vlastní teoretický návrh systému řízení veřejného osvětlení

Komunikace probíhá mezi senzory a datakoncentrátorem pomocí standardu ZigBee, který byl zvolen pro své kompaktní rozměry, nízkou cenu a bezpečnost přenosu. Velikost přenášených dat bude max ve stovkách kB, což je další z důvodů volby standardu ZigBee. Komunikaci v subbloku bude potřeba uspořádat do topologie sítě *mesh*, která umožňuje datový přenos na delší vzdálenosti. Datakoncentrátor s řídí centrálou budou komunikovat přes UDP protokol. Datakoncentrátor bude připojen do sítě, což dává uživateli možnost volby nejlevnějšího nebo nejspolehlivějšího poskytovatele internetu. UDP protokol je zvolen pro svou jednoduchost, bezstavovost a absenci zbytečné režie při navazování spojení a zasílání potvrzovacího paketu jak je tomu u TCP protokolu.

4 SIMULACE

Navržený systém byl upraven kvůli požadavkům simulace a pro zjednodušení práce v simulátoru. Simulace se tak zaměřuje na komunikaci mezi světly, potažmo senzory světla a datakoncentrátorem. V simulaci je využíván protokol LR-WPAN, který nahrazuje protokol ZigBee. Toto řešení nijak nesnižuje funkčnost vytvořeného teoretického návrhu ale usnadňuje práci s programem pro simulaci. Simulovány jsou tři situace a to jednoduchá, méně frekventovaná ulice, představující např. odlehlou cestu v parku (*Scénář A*, obr. 4.1), frekventovaná městská ulice (*Scénář B*, příloha C.1) a simulace poskytnutého systému řízení (*Scénář C*, příloha C.2). Popsán je průběh programování a nastavení simulace pro *scénář A*, z této simulace pak vychází zbylé dvě varianty.



Obr. 4.1: Scénář A - méně frekventovaná ulice

Při tvorbě vlastního programu je nejdříve potřeba připojit hlavičkové soubory. Připojování jednotlivých hlavičkových souborů by bylo zdlouhavé. Tento fakt obedejeme použitím modulů, které jsou pro tyto případy připraveny vývojáři.

Použité moduly:

- `<ns3/log.h>`
- `<ns3/core-module.h>`

- <ns3/lr-wpan-module.h>
- <ns3/lr-wpan-module.h>
- <ns3/propagation-loss-model.h>
- <ns3/propagation-delay-model.h>
- <ns3/simulator.h>
- <ns3/single-model-spectrum-channel.h>
- <ns3/constant-position-mobility-model.h>
- <ns3/packet.h>
- <iostream>

Po vložení modulů následuje hlavní funkce programu. Na začátku programu musíme určit jaké informace se v průběhu simulace budou zaznamenávat. Tyto informace mohou generovat uzly, zařízení, protokoly a aplikace. Dále je potřeba zapnout všechny uzly. V tomto programu je nastaveno informování uzlů o přijetí paketů a o jaké velikosti byl paket přijat následujícími příkazy (kód 4.1).

Kód 4.1: Záznam potřebných informací

```
static void DataIndication(McpsDataIndicationParams params, Ptr<
    Packet> p)
{
    NS_LOG_UNCOND("Received packet of size" << p->GetSize());
}
static void DataConfirm(McpsDataConfirmParams params)
{
    NS_LOG_UNCOND("Packet has been received");
}
```

Další v pořadí je samotné nastavení uzlů. V tomto případě bude použito 10 uzlů. Poté vytvoříme 10 zařízení pro příjem a vysílání signálu a přiřadíme těmto zařízením MAC adresy. Dále využijeme modulu pro simulaci zpoždění a rušení kód 4.2. Zároveň nastavíme komunikační kanál, tato simulace využívá po celou dobu jen jeden komunikační kanál. Nastavený komunikační kanál přidělíme vytvořeným zařízením a ty pak spojíme s uzly (na obr. 4.1 se jedná o uzly `dataCont` a `dev1-dev9`). Uvedená část kódu 4.3, obsahuje nastavení pouze pro jeden `nod`, potažmo `dev1`.

Kód 4.2: Nastavení rušení

```
// zdefinovani ruseni na kanálu
Ptr<SingleModelSpectrumChannel> channel = CreateObject<
    SingleModelSpectrumChannel>();
Ptr<LogDistancePropagationLossModel> propModel = CreateObject<
```

```

        LogDistancePropagationLossModel>();
Ptr<ConstantSpeedPropagationDelayModel> delayModel = CreateObject<
        ConstantSpeedPropagationDelayModel>();
channel->AddPropagationLossModel(propModel);
channel->SetPropagationDelayModel(delayModel);

```

Kód 4.3: Nastavení uzlů

```

// vytvoreni koncových bodů a zarizeni
NodeContainer uzly;
uzly.Create(10);

Ptr<Node> n1 = CreateObject<Node>(); ...

Ptr<LrWpanNetDevice> dev1 = CreateObject<LrWpanNetDevice>(); ...

dev1->SetAddress(Mac16Address("00:00")); ...

//prirazeni komunikacnich kanalu
dev1->SetChannel(channel); ...

// LrWpanNetDevice musi byt prirazeno ke kazdemu koncovemu bodu
dev1->AddDevice(dev1); ...

```

V dalším kroku nastavíme pozice jednotlivým zařízením. Podle zadaných vektorů pak můžeme z použitých zařízení utvářet potřebné objekty, trasy nebo v případě této simulace obr. 4.1. Zde (kód 4.4) je uvedena jen část kódu protože pro každé zařízení se nastavení v podstatě opakuje.

Kód 4.4: Nastavení pozic zařízení

```

//nastaveni pozic zarizeni
Ptr<ConstantPositionMobilityModel> sender0Mobility=CreateObject<
        ConstantPositionMobilityModel>();

sender0Mobility->SetPosition(Vector(0, 10, 5));
dev1->GetPhy()->SetMobility(sender0Mobility); ...

```

Nyní už zbývá jen nastavit potvrzovací callback aby byla zajištěna informovanost o správném odeslání případně přijetí paketu. A nastavení výpisu komunikace do souboru .pcap což je stěžejní pro kontrolu správné komunikace mezi zařízeními. Vysledný soubor lze otevřít v programu WireShark a dále analyzovat. Nastavení callbacku a vytvoření souboru .pcap je uvedeno zde (kód 4.5).

Kód 4.5: Callback

```
//nastaveni potvrzovaciho callbacku pro dataCont
McpsDataConfirmCallback cb0;
cb0 = MakeCallback(&DataConfirm);
dataCont->GetMac()->SetMcpsDataConfirmCallback(cb0);

McpsDataIndicationCallback cb1;
cb1 = MakeCallback(&DataIndication);
dataCont->GetMac()->SetMcpsDataIndicationCallback(cb1);

//zadani vypisu do souboru pcap
lrWpanHelper.EnablePcapAll(std::string("lr-wpan-data"), true);
AsciiTraceHelper ascii;

Ptr<OutputStreamWrapper>
stream=ascii.CreateFileStream("lr-wpan-data.tr");
lrWpanHelper.EnableAsciiAll(stream);
```

Posledním nastavením před spuštěním simulace je nastavení velikosti paketů pomocí kterých jsou rozlišeny informace předávané mezi zařízeními (`dataCont-dev9`). Velikosti paketů představují informace o momentálním stavu osvětlení a jaký stav bude následovat. Tímto je zajištěna funkce spínání osvětlení při startu neboli inicializaci, kdy datakoncentrátor pošle paket

```
Ptr<Packet> zapni_na_100_vsechny = Create<Packet>(10);
```

po kterém se rozsvítí veškeré osvětlení na 100% a po uplynutí nastaveného času zašle další paket

```
Ptr<Packet> zapni_na_50_vsechny = Create<Packet>(5);
```

po jehož přijetí osvětlení bude svítit pouze na 50%. Při průchodu osoby z *bodu A* do *bodu B* pak jednotlivá zařízení zasílají pakety o změně stavu. Datakoncentrátor poté po uplynutí zadaného času, a pokud nepřijme další paket o změně stavu, zašle paket s hodnotou pro návrat do stavu původního. Nastavení pro zasílání paketů je provedeno následovně (kód 4.6).

Kód 4.6: Nastavení zasílání paketů

```
//INICIALIZACE
Ptr<Packet> p0 = Create<Packet>(10);
McpsDataRequestParams params;
params.m_srcAddrMode = SHORT_ADDR;
params.m_dstAddrMode = SHORT_ADDR;
params.m_dstPanId = 0;
```

```

params.m_dstAddr = Mac16Address( "ff:ff" );
params.m_msduHandle = 0;
params.m_txOptions = TX_OPTION_ACK;

Simulator::ScheduleWithContext( 1, Seconds( 0.0 ),
&LrWpanMac::McpsDataRequest,
dataCont->GetMac(), params, p0 ); ...

Simulator::Run();

Simulator::Destroy();
return 0;
}

```

Po spuštění simulace jsou výsledky zaznamenány do konzole a exportovány do souboru `.pcap`. Tento soubor je přístupný z navigačního menu v levé části jak je zobrazeno v příloze obr. B.1. Na tomto obrázku můžeme vidět i výsledky simulace uvedené v konzoli (červené písmo). Provedená simulace a její nastavení je základního charakteru, aby mohla být případně využita pro další systémy řízení veřejného osvětlení, jak tomu je například u scénáře *C* na obr. C.2.

Tento scénář implementuje na stávající kód metodu řízení veřejného osvětlení, kdy je řízená oblast rozdělena na podoblasti světél. Při průchodu osoby se spíná celá oblast, čímž je ošetřena možnost náhodné chůze dané osoby. Při přechodu z *oblasti 1* do *oblasti 2* a poté do *oblasti 3* dochází k regulaci výkonu osvětlení následovně: *Oblast 1* má po uplynutí určitého času výkon nastaven na 50%, při vstupu osoby do oblasti se výkon zvedne na 100% a v následující oblasti (*oblast 2*) na 75%. Jak osoba pokračuje do *oblasti 2* zvedá se zde výkon na 100% a v předchozí a následující oblasti na 75%. Při vstupu do *oblasti 3* jsou výkony následující: *Oblast 1* 50%, *Oblast 2* 75% a *Oblast 3* 100%. V okamžiku kdy osoba opustí řízené oblasti výkon je nastaven zpět na počáteční hodnotu.

5 VÝSLEDKY

Výsledkem uvedených simulací je soubor *.pcap* v kterém, po jeho spuštění ve Wire-Sharku, můžeme sledovat průběh komunikace mezi jednotlivými zařízeními, které je možné detekovat podle přiřazených MAC adres (*dataCont 00:AA, dev1 00:00, ...*). Vygenerovaný soubor slouží pro kontrolu sledu a správnosti komunikace. Hodnota paketů se navyšuje, jelikož komunikace probíhá přes všechny uzly. K této hodnotě je potřeba připočítat hlavičku paketu.

Odsimulovaný provoz jedné osoby je referenčním pro výpočet příkonu osvětlení při průchodu více osob za hodinu. Pro výpočty byly referenční hodnoty zvoleny z tab. 2.1. Příkony osvětlení a hodnoty světelného toku (lm) a osvětlení (lux) byly zvoleny tak aby splňovali normu osvětlení ČSN EN 13201-2 (Osvětlení pozemních komunikací) a třídu CE0, pro kterou je daná minimální hodnota osvětlení 50 lx. Pro převod luxů na lumeny je použit vzorec:

$$E_{v(lx)} = \frac{\phi_{V(lm)}}{A_{(m^2)}} \quad (5.1)$$

kde $E_{v(lx)}$ je Intezita osvětlení, $\phi_{c(lm)}$ je světelný tok a A_{m^2} je osvětlená plocha. Příkon za hodinu na jednom osvětlení při průchodu jedné osoby, byl spočítán podle následujícího vzorce:

$$P_{h(W)} = P_{ta(W)} + P_{tb(W)} \quad (5.2)$$

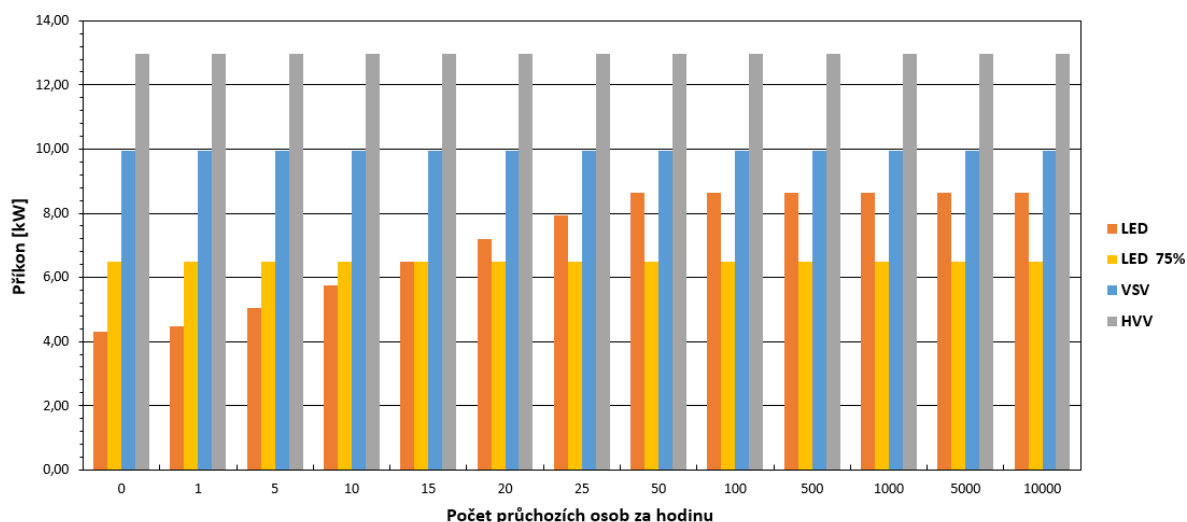
kde $P_{h(W)}$ je výsledný příkon za hodinu, $P_{ta(W)}$ je příkon za dobu svícení na 100%, $P_{tb(W)}$ je příkon za dobu svícení na 50%. S narůstajícím počtem osob pak $P_{ta(W)}$ roste a $P_{tb(W)}$ klesá. Výslednou hodnotu příkonu bylo pak potřeba vynásobit počtem osvětlení a dobou svícení.

5.1 Scénář A

V tomto scénáři byla simulována odlehlá, méně frekventovaná ulice. Simulován byl pohyb osoby z bodu A do bodu B. Volená světla jsou v souladu s uvedenou normou a rovněž třídou. Minimální hodnota osvětlení je přepočtena na lumeny a činí hodnotu 1250 lm. Této nejnižší hranice světelného toku není dosaženo díky naddimenzování výkonu svítidel. Tímto je dán prostor pro volbu případně méně výkonných světel. Zvolené osvětlení tím pádem maximálně dosahuje hodnot potřebných pro třídu CE0. Při průchodu jedné osoby hodnota příkonu činila 6,2 W pro jedno LED osvětlení. S touto hodnotou bylo dále počítáno a hodnoty byly zaneseny do grafu na obr. 5.1.

Graf zobrazuje závislost příkonu vybraných osvětlení (LED, Vyskotlaké sodíkové výbojky–VSV, Halogenidové výbojky–HVV) na počtu osob které pod těmito

osvětleními projdou za hodinu. Pohyb více osob za hodinu simuluje provoz pod danými svítidly a je brán jako pohyb osob po sobě jdoucích, kdy časovač osvětlení je nastaven na 2 min pro jednu osobu. Z výsledného grafu můžeme pozorovat výraznou převahu LED osvětlení až do průchodu 50 osob za hodinu. V tomto okamžiku již osvětlení svítí na 100% po celou dobu pohybu osob a systém řízení ztrácí na kýžené efektivnosti. Vzhledem k tomu, že se jedná o nefrekventovanou ulici, můžeme v tomto případě prohlásit navržený systém za efektivní. Graf dále poukazuje na úsporný potenciál LED osvětlení které je i při svícení na 100% úspornější než současné vysokotlaké sodíkové výbojky nebo halogenidové výbojky. Pro srovnání je v grafu uvedeno LED osvětlení svítící na 75%, simulující současný systém řízení, ve kterém by byly vysokotlaké sodíkové výbojky nahrazeny LED osvětlením. I v tomto případě se jedná o úspornější řešení, než řešení současné. Současně byl pro tento

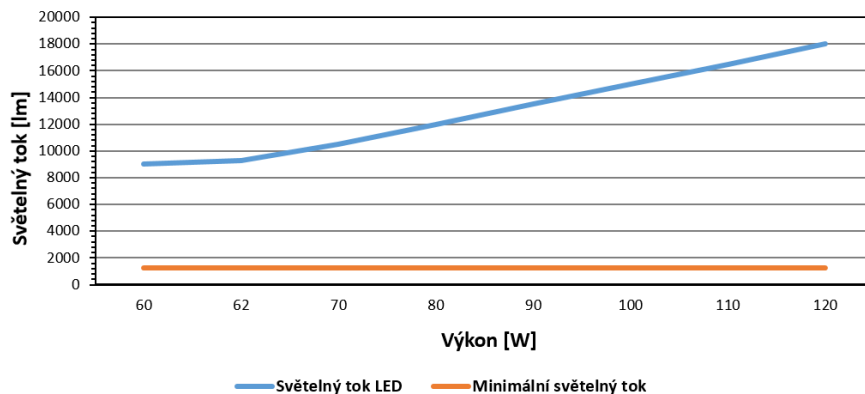


Obr. 5.1: Scénář A - méně frekventovaná ulice

scénář vypracován graf (obr. 5.2) závislosti světelného toku na výkonu pro LED osvětlení. Na tomto grafu je uvedena určená minimální hodnota osvětlení a její výkon, dále pak hodnota osvětlení v závislosti na výkonu pro jedno LED osvětlení. Graf dokazuje, že spolu se vzrůstajícím výkonem roste nelineárně i hodnota osvětlení. Minima není dosaženo volbou výkonějšího osvětlení a je tím dán prostor pro případnou volbu méně výkoných LED světelných zdrojů.

5.2 Scénář B

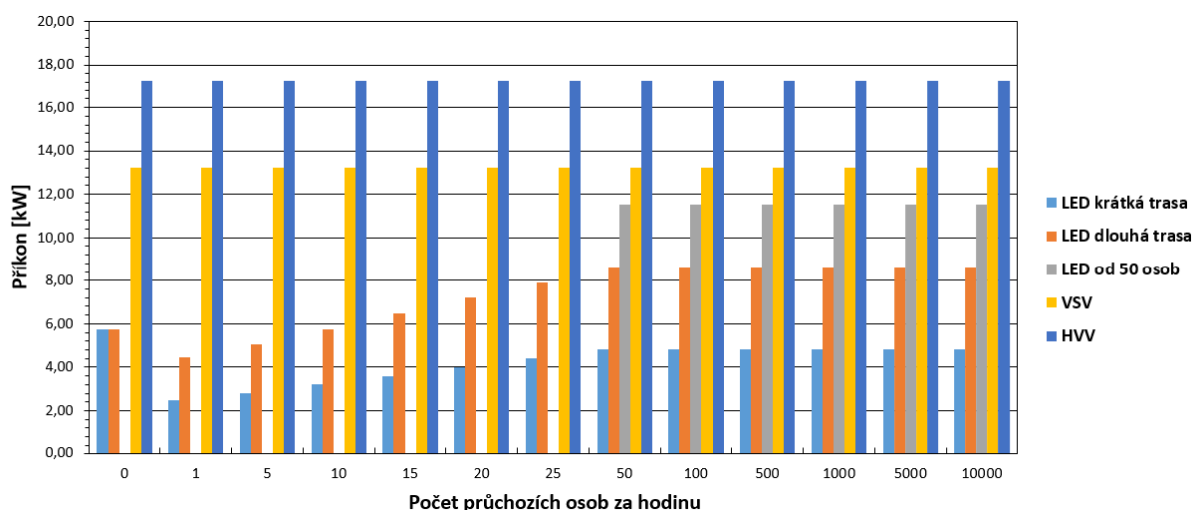
Scénář B simuluje frekventovanou ulici. Simulován byl pohyb osoby z bodu A do bodu B pro kratší cestu a pro delší cestu. Volená světla jsou opět v souladu s uvede-



Obr. 5.2: Scénář A - závislost osvětlení na výkonu

nou normou. Při průchodu jedné osoby činila hodnota příkonu 2,49 kW pro všechna LED osvětlení na krátké trase a 4,48 kW na dlouhé trase. S těmito hodnotami bylo dále počítáno a byly zaneseny do grafu na obr. 5.3.

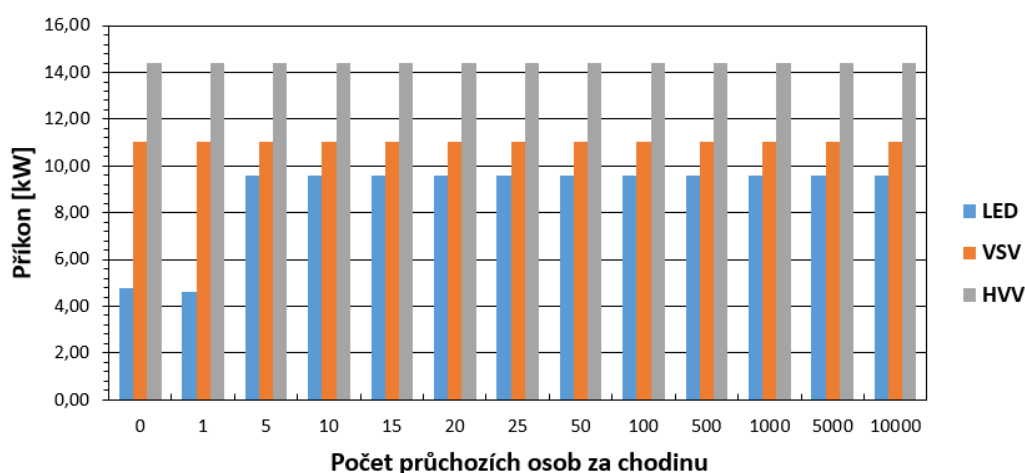
Graf zobrazuje závislost příkonu osvětlení na počtu osob, které pod těmito osvětleními projdou za hodinu. Pohyb více osob za hodinu simuluje provoz pod danými svítidly a je brán jako pohyb osob po sobě jdoucích, kdy časovač osvětlení je nastaven na 2 min pro jednu osobu. V tomto grafu jsou brány dvě varianty kterými se osoba může dostat z bodu A do bodu B. Výsledný graf potvrzuje převahu LED osvětlení až do průchodu 50 osob za hodinu. Při pohybu 50 osob za hodinu je v grafu zobrazeno „zahlcení“ daných ulic při kterém svítí všechna světla na 100%. I v tomto případě je příkon LED osvětlení nižší než je tomu u standartních světelných zdrojů.



Obr. 5.3: Scénář B - frekventovaná ulice

5.3 Scénář C

Scénář C simuluje poskytnutou metodu řízení veřejného osvětlení, při které je simulovaná ulice rozdělena do tří oblastí a světla v těchto oblastech jsou řízena společně. Osvětlení opět splňuje požadovanou normu. Při průchodu jedné osoby činila hodnota příkonu 4,64 kW pro všechna LED osvětlení. Výsledný graf na obr. 5.4 potvrzuje převahu LED osvětlení. Zde se ale z důvodu spínání celých oblastí, zdánlivě vyplatí systém řízení osvětlení jen do počtu průchodu 5 osob za hodinu. Je však potřeba brát zřetel na fakt, že se jedná o průchod osob z bodu A do bodu B, tedy nejdelší trasu při které jsou rozsvícena všechna světla. Spínání větších oblastí současně se může jevit jako nevýhodné ovšem systém řízení tímto ošetřuje náhodný pohyb osob a zároveň zvyšuje jejich bezpečnost. Uvedený fakt je možno považovat za největší výhodu oproti navrženému systému řízení veřejného osvětlení. Graf opět poukazuje na úsporu LED světelných zdrojů oproti tradičním zdrojům osvětlení.



Obr. 5.4: Scénář C - poskytnutý systém řízení

6 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá problematikou inteligentního veřejného osvětlení. Zaochází se inteligentními technologiemi umožňujícími rozvoj jednotlivých technologických odvětví. Do těchto technologií patří inteligentní sítě, jejichž implementací je zajištěna spolehlivost dodávek energie a oboustranná komunikace umožňující efektivní řízení spotřeby. Neméně důležitou součástí inteligentních technologií jsou právě systémy řízení veřejného osvětlení, které zajišťují efektivnější a co se spotřeby týče méně náročné možnosti řízení veřejného osvětlení. V této práci jsou vybrány inteligentní systémy s různými komunikačními možnostmi. Jsou vyzdvíženy jejich výhody vůči současnému řízení veřejného osvětlení a srovnány s navrhovaným systémem řízení veřejného osvětlení. Dále jsou rozebrány nejčastěji používané světelné zdroje, srovnány světelné zdroje obecně a vyzdvíženy výhody využití LED světelných zdrojů.

Další částí této práce je teoretický návrh vlastního energeticky úsporného systému pro ovládání veřejného osvětlení. V tomto modelu jsou vybrány vhodné komunikační standardy a protokoly a implementovány na teoretický model ovládání veřejného osvětlení. Zvolený simulační nástroj je popsán a jsou zdůrazněny jeho výhody.

K samotnému programování simulace navrženého systému řízení je pak přistupováno jako k základu pro možné další systémy řízení veřejného osvětlení. Z toho důvodu je teoretický model zjednodušen a protokol ZigBee nahrazen protokolem LR-WPAN. Kód simulace je psán co nejjednodušeji, tak aby bylo dosaženo snadné implementace dalších systémů. Odsimulována je vlastní metoda řízení a poskytnutá metoda řízení. Tyto metody jsou srovnány se současným systémem řízení a výsledky zaneseny do grafů. Pro aplikaci v reálné situaci by byl nutný úplný přístup k normám určujícím požadavky pro daný typ komunikace, výpočet všech hodnot osvětlení a doporučené metody pro měření. Které by zajistili korektnost výpočtů pro osvětlení vybraných ploch a komunikací. V neposlední řadě pak správnost navržených řešení v souladu se všemi normami ČSN pro osvětlení veřejných komunikací.

Z výsledných grafů je na první pohled patrná převaha LED světelných zdrojů oproti tradičním. Tento fakt je pozorovatelný u všech tří scénářů. Metody řízení se jeví jako výhodnější do počtu průchodu 50 osob za hodinu. Od této hodnoty už osvětlení svítí na 100%. I přes tento fakt je viditelná úspora v případě LED osvětlení. Nejvýhodnější metodou řízení je pak metoda poskytnutá, která ošetřuje náhodný pohyb osob a zvyšuje tím jejich bezpečnost. Systémy řízení veřejného osvětlení se tak v uměle vytvořených podmínkách jeví jako méně náročnější jak, na spotřebu tak, na údržbu oproti současným systémům. Simulované systémy můžeme tedy považovat za výhodnější oproti současným systémům. Tato práce však neřeší pořizovací náklady na výměnu světelných zdrojů a zavádění nových systémů řízení veřejného osvětlení.

Aplikace inteligentních systémů řízení veřejného osvětlení s LED zdroji osvětlení má smysl převážně při dosluhování stávajícího osvětlení a jeho výměně za úspornější, elegantnější a efektivnější systémy.

LITERATURA

- [1] IEEE: *2012 FIRST INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE ENGINEERING CHALLENGES FOR THE SMART GRID*, June 3. 2012 International Workshop on Software Engineering for the Smart Grid (SE4SG) [online]. Piscataway: IEEE, 2012 [cit. 2014-12-13]. ISBN 978-146-7318-631.
- [2] CHOI, Tae-Il a YOUNG-KWON CHO. *International business offering related to innovative smart technologies. 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) [online].*, IEEE, 2012, s. 1-8 [cit. 2014-12-15]. DOI: 10.1109/ISGT.2012.6175603
- [3] TESARŮ, Jiří. *Veřejné osvětlení a jeho současný stav v České republice. [online].*, 15.7.2010 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6437936>>.
- [4] STAŠA, Michal. *Veřejné osvětlení a jeho současný stav v České republice. [online].*, SEVEN 2.7.2013 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <<http://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6601922&ht=ve%F8ejn%E9+osv%ECtlen%ED>>.
- [5] IEEE: *2012 FIRST INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE ENGINEERING CHALLENGES FOR THE SMART GRID*. June 3. Smart metering 2009 making it happen [online]. Stevenage: IET, 2009 [cit. 2014-12-13]. ISBN 978-184-9190-893.
- [6] INFINEON. *Research Project Will Improve Energy Distribution in Smart Grid*. 16. srpen 2012 [cit. 2014-12-13]. Germany, 2012.
- [7] IEEE: *2012 FIRST INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE ENGINEERING CHALLENGES FOR THE SMART GRID*. June 3. 2013 Workshops of International Conference on Advanced Information Networking and Applications (WAINA) [online]. Piscataway: IEEE, 2013 [cit. 2014-12-13]. ISBN 978-146-7362-399.
- [8] IEEE: *Smart Communications in Network Technologies (SaCoNeT), 2014 International Conference*. Italy: Vilanova i la Geltru, 2014. 6s [cit. 2014-12-13].
- [9] KIM, Byung-Gook, Yu ZHANG, Mihaela van der SCHAAR, Jang-Won LEE a Ahmad FARUQUI: *Dynamic pricing for smart grid with reinforcement learning*. [online]. Piscataway: IEEE, 2013 [cit. 2014-12-13]. ISBN 10.1016/b978-0-12-386452-9.00003-6.

- [10] INTERNATIONAL JOURNAL ON COMPUTER SCIENCE AND ENGINEERING *GSM Based Smart Street Light Monitoring and Control System. Indie, 2013*. Dostupné z: <<http://www.enggjournals.com/ijcse/doc/IJCSE13-05-03-053.pdf>>.
- [11] INTELILITE, L.L.C. *Intelligent outdoor lighting control system [patent]*. 08/804,714, U.S. Pat. No. 5,962,991. Uděleno 21.6.1997. Dostupné z: <<http://patents.justia.com/patent/6204615>>.
- [12] WORLD BANK GROUP *Urban population [online]*. 2014 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <<http://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL/countries/1W?display=graph>>.
- [13] INTELILITE, LLC. *Intelligent outdoor lighting control system [patent]*. U.S.A. Uděleno 21.6.2002. Dostupné z: <<http://www.patentgenius.com/patent/6791284.html>>.
- [14] VERISSIMO, Paulo, Alysson BESSANI a Marcelo PASIN. The TClouds architecture: *Open and resilient cloud-of-clouds computing. IEEE/I-FIP International Conference on Dependable Systems and Networks Workshops (DSN 2012) [online]*. IEEE, 2012, s. 1-6 [cit. 2014-12-14]. DOI: 10.1109/DSNW.2012.6264686.
- [15] TLOUDS *SMART LIGHTING SYSTEM [online]*. 2010 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <<http://www.tclouds-project.eu/downloads/factsheets/tclouds-factsheet-14-smartlight.pdf>>.
- [16] SCHRÉDER *Smart control for efficient lighting: Owlet*. Belgium, 2013, [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <<http://www.schreder.com/SiteCollectionDocuments/Additional-content/Schreder-Owlet-Control-Systems-V2.pdf>>.
- [17] AXIMA, spol. s r.o. *CREDIT: Systém řízení a regulace výbojkového osvětlení*. České Republika, 2013.
- [18] EUROPEAN LAMP COMPANIES FEDERATION *Lamp types [online]*. Brusel, 2012 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://www.elcfed.org/2_lighting_types.html>.
- [19] OSRAM *Metal Halide Lamps: Instruction for use and application*. Germany, 2007. Dostupné z: <<http://www.osram.de/media/resource/hires/334186/Metal-halide-lamps.-Instructions-for-the-use-and-application.pdf>>.

- [20] Doc.Ing.BAXANT, P.,Ph.D., *Zdroje LED v osvětlovací technice: Diody LED využívané v elektrické instalaci a v elektrických zařízeních*. Odborne časopisy [online]. 2011, č. 5, s. 6-9 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43492.pdf>>.
- [21] Ing.PANCHARTEK, R. *Porovnání svítidla 62W LED a 70W sodíkovou výbojkou v praxi*. Světlo 2011, č. 5, s. 10-11 [cit. 2014-12-14].
- [22] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *International Standards and Conformity Assessment for all electrical, electronic and related technologies [online]* 2014 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <<http://www.iec.ch/index.htm>>.
- [23] LIGHTING CONTROLS B.V. DALI AG: *Digital Addressable Lighting Interface*. Germany, 2013. Dostupné z: <http://www.dali-ag.org/fileadmin/user_upload/pdf/news-service/brochures/14_Broschuere_Dali_eng_LR.pdf>.
- [24] ZigBee Alliance. *ZigBee network specification [online]* 2014. Dostupné z: <<http://zigbee.org/zigbee-for-developers/>>.
- [25] NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. *NS-3 tutorial*. 2014. Dostupné z: <<http://www.nsnam.org/docs/release/3.15/tutorial/ns-3-tutorial.pdf>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AES	Advanced Encryption Standard - standard pokročilého šifrování
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector
DMS	Distribution Management System - systém řízení distribuce
DSI	Digital Serial Interface - digitální sériové rozhraní
DTC	Domain Technologie Control - doména technologie řízení
GSM	Groupe Spécial Mobile - globální systém pro mobilní komunikace
IEC	International Electrotechnical Commission - mezinárodní elektrotechnická komise
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LAN	Local Area Network - místní síť
LTE	Long-Term Evolution
LED	Light-emitting Diode - elektroluminescenční dioda
LR-WPAN	Low Rate-Wireless Personal Area Network - Nízkonákladová bezdrátová osobní síť
MAC	Media Access Control
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
PLC	PowerLine Communication - komunikace po elektrické síti
PAN	Personal Area Network - osobní síť
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition - Dispečerské řízení a sběr dat
SELF	Separated Extra Low Voltage
SIM	Subscriber Identity Module - účastnický identifikační modul
SMS	Short Message Service - služba krátkých textových zpráv
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VSV	Vysokotlaké sodíkové výbojky

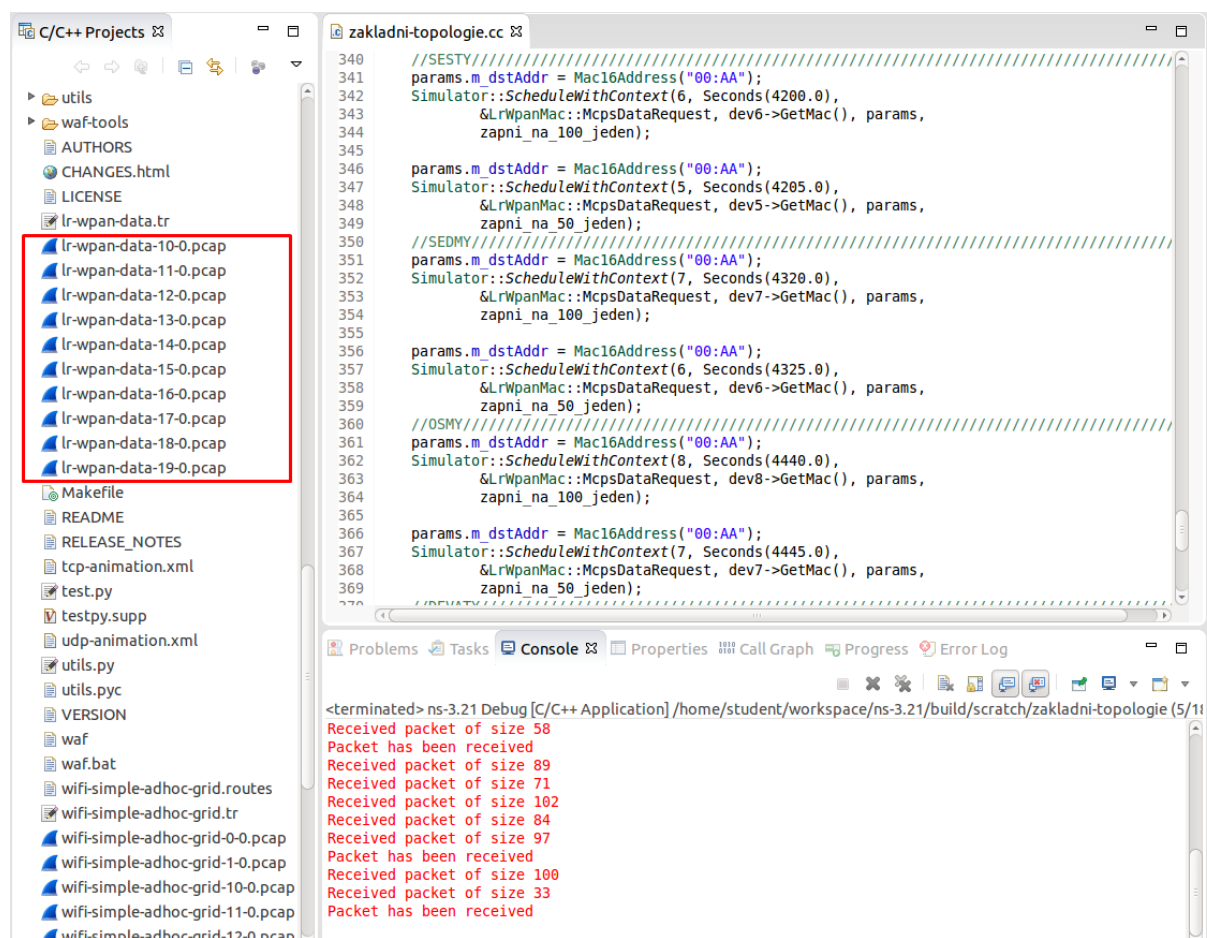
WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access

A PŘÍLOHA - KOMPARACE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Tab. A.1: Komparace světelných zdrojů [21]

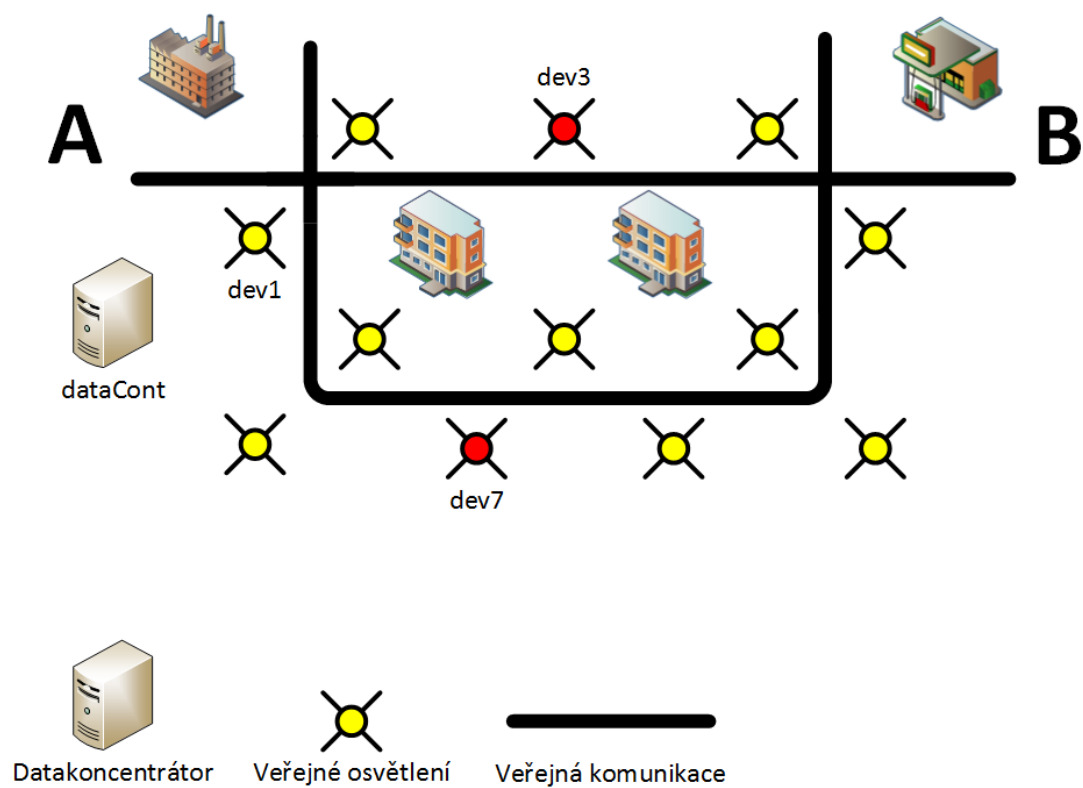
	Vysokotlaká so- díková výbojka (138 W)	LED zdroj (120 W) (h)	Poznámka
Kategorie komuni- kace dle ČSN EN 13201-1	CE0	CE0	Požadovaná prů- měrná osvětlenost 50 lx
Minimální osvětle- nost (lx)	80	80	Minimální hodnota podle ČSN EN 13201 1,5 lx
Příkon (W)	138	120	Příkon svítidla včetně ztrát na předřadníku
Denní provoz (h)	8	8	Průměrný denní provoz
Spotřeba denně (kW/h)	0,98	0,78	/
Roční náklady na energii bez DPH (Kč)	1077,48	854,10	/
Doba životnosti světelného zdroje (h)	50000	70000	/
Cena svítidla bez DPH (Kč)	5000	50000	Průměrná cena dle katalogů výrobců
Náklady na ener- gii za 12let bez DPH(Kč)	19 926,00	10 242,20	/
návratnost inves- tice (rok)	/	4,82	rozdíl v provoz- ních nákladech 3430,56 Kč

B PŘÍLOHA - SIMULAČNÍ PROSTŘEDÍ

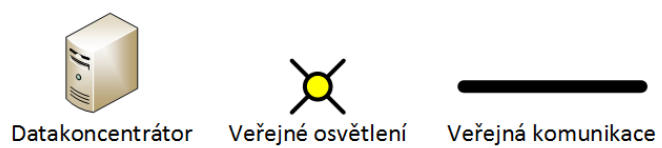
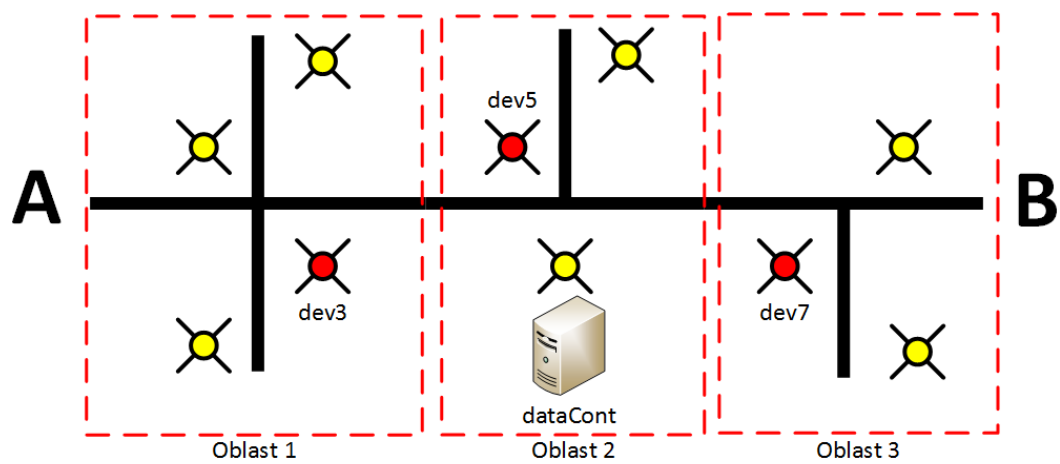


Obr. B.1: Simulační prostředí

C PŘÍLOHA - SIMULAČNÍ SCÉNÁŘE



Obr. C.1: Scénář B - frekventovaná ulice



Obr. C.2: Scénář C - simulace poskytnutého systému